

539.7222

2/17/71

5.3

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาพลังงาน

0.344 และ 1.408 MeV จากยูไรเนียม -152 ณ ค่ามุมต่าง ๆ

ระหว่าง $15^\circ - 45^\circ$ โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า

ปริณิญาณิพนธ์

ของ

ประสาร คณาวุฒิเชษฐ์

24 เม.ย. 2535



เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหบัณฑิต

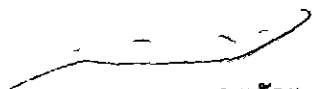
ตุลาคม 2527

ลิขสิทธิ์ เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

177772

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV

จากยูริเทียม -152 ณ ค่ามุมต่าง ๆ ระหว่าง $15^\circ - 45^\circ$ โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า



บทคัดย่อ

ของ

ประสาร คลอวุฒิเสถียร

การทดลองหาค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา
พลังงาน ๐.๓๔๔ และ ๑.๔๐๘ MeV ที่มุมกระเจิง 15° , 20° , 30° , 35° และ 45° นี้
โดยใช้ตะกั่ว เป็น เป้า และใช้เครื่องวัดซินทิลเลชัน ซึ่งมีผลึกโซเดียมไอโอไดค์เป็นตัวเรืองแสง
ค่าภาคตัดขวางที่หาจาก การทดลองนี้ หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของ
การกระเจิงแบบยืดหยุ่นกับการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการ
ทดลองของคนอื่น ๆ ทั้งในเชิงทดลองและเชิงทฤษฎี และทั้งที่ใช้รังสีแกมมาพลังงานค่าเดียวกัน
และค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการกระเจิงแบบเรเลย์ และการกระเจิงแบบทอมสัน

สรุปได้ว่า เมื่อใช้รังสีแกมมาที่พลังงาน ๐.๓๔๔ MeV ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ
ผลการทดลองของคนอื่น ๆ และกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

สำหรับรังสีแกมมาที่พลังงาน ๑.๔๐๘ MeV ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ
และกับผลการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก เครื่องวัดที่ใช้ในการทดลองนี้มี
ประสิทธิภาพไม่สูงพอที่จะแยกยอดพลังงานของ ๑.๔๐๘ และ ๑.๑๑๒ MeV ที่ใกล้กันมากออกจาก

DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS FOR ELASTIC SCATTERING BY Pb OF 0.344
AND 1.408 MeV GAMMA RAYS FROM Eu^{152} AT
VARIOUS ANGLES BETWEEN 15° AND 45°

AN ABSTRACT

BY

PRASARN CHLOWUTHISATIAN

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University

October 1984

The differential cross-sections for elastic scattering of 0.344 and 1.408 MeV gamma rays at scattering angles of 15° , 20° , 25° , 35° and 45° using scintillation detector with NaI(Tl) crystals, and with Pb as the target are experimentally determined from the ratio of the intensities of elastic and Compton scattering. The results were compared with the previous experimental work, using gamma rays at the same energy and slightly different energies. They were also compared with the theoretical results of Rayleigh as well as that of nuclear Thomson scattering. For 0.344 MeV gamma rays, the experimental differential cross-sections agreed very well with the results of the others and with the theoretical calculation.

But for 1.408 MeV gamma rays, the differential cross-sections did not agree with neither theoretical results nor experimental results of others. The discrepancy is due to the fact that the detector used is not efficient enough to separate the peaks of 1.408 and 1.112 MeV which are very closed, so the count was much higher than the expected value.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์
ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

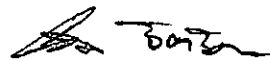


ประธาน

วิมลรส ธีระกุล

กรรมการ

คณะกรรมการสอบ



ประธาน

วิมลรส ธีระกุล

กรรมการ

ศุภ วรรณ กรรมการ

ปริญญาโทพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จาก

ทุนงบประมาณแผ่นดิน

ประกาศกฎปฏิบัติการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทุนงบประมาณแผ่นดิน และได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิมล จิตวัฒนากร ประธานกรรมการที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ สมทรง วิสกุล ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น แนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ วีระพงษ์ จิวประเสริฐกุล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะครูศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า บางมด ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อให้ใช้เครื่องมือและให้คำแนะนำในการทำวิจัย และ อาจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อให้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยขอกราบคารวะถึงพระคุณ มารดา และ พี่ ๆ ที่ได้เมตตาเป็นกำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณสุณัย สุขเกษม และเพื่อน ๆ และ อาจารย์ในหมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนราชวินิต บางแก้ว ในพระบาทราชูปถัมภ์ ที่ให้กำลังใจผู้วิจัย และช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

ประกาศ คลอดูติ เกลียร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	5
ความสำคัญของ การศึกษาค้นคว้า	6
ขอบ เขตในการศึกษาค้นคว้า	8
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
การกระ เจิงแบบ เร เลย์	8
การกระ เจิงแบบหอมสัน	12
การกระ เจิงแบบ เดลบริค	13
การกระ เจิงแบบอภินาตนิว เคลลอร์	15
การกระ เจิงแบบคอมพ์ตัน	16
3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการทดลอง	22
เครื่องมือ	22
แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	22
เครื่องวัดซินทิล เลชัน	24
เป้า	27
วิธีดำ เนินการทดลอง	29
การคำนวณและการวิ เคราะห์ผลการทดลอง	33

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	3๘
การ เปรียบ เทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี	3๘
การ เปรียบ เทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ .	40
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อ เสนอแนะ . . .	43
บทย่อ :	4๕
สรุปผลการค้นคว้า	46
อภิปรายผล .	50
ข้อ เสนอแนะ . . .	5๑
บรรณานุกรม . . .	52
ภาคผนวก . . .	

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ความเข้มข้นแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาจากยูไรเนียม -152	23
2 แสดงค่า $S(X, Z)$, $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(0)\right)_{KN}$ และ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$	37
3 แสดงค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณทางทฤษฎี 4 แบบ	38
4 เปอร์เซนต์ของความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลคำนวณทางทฤษฎีที่พลังงาน 0 344 MeV	39
5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง เดียวกัน	40
6 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง ใกล้เคียงกัน	41
7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่คำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ	47

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงลักษณะภายในของหัววัดรังสี	25
2 แสดงตำแหน่งของกล่องหมุดตกกานีตรังสีแกมมา เป้า และหัววัดรังสี	28
3 กราฟแสดง เส้นแคลิ เบรชัน	31
4 กราฟแสดงการหาค่าเรสโซลูชัน	32
5 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงาน 0.344 MeV	42
6 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงาน 1.408 MeV	43
7 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่คำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลอง อื่น ๆ ที่พลังงาน 0.344 MeV	48
8 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่คำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลอง อื่น ๆ ที่พลังงาน 1.408 MeV	49

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

จากการศึกษาของริทเธอร์ฟอร์ด เรื่องการกระเจิงของรังสีแอลฟาที่มีพลังงานต่ำ โดยนิวเคลียสของแผ่นทองคำ สรุปได้ว่าอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบ ๆ เส้นผ่านศูนย์กลางอะตอมมีค่าโดยประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร และนิวเคลียสมีขนาด 10^{-12} เซนติเมตร ผลดังกล่าวนับเป็นการเริ่มต้นยุคของนิวเคลียร์ฟิสิกส์ จะเห็นได้ว่าอะตอมมีขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้การสังเกตโดยตรงด้วยตาเปล่า แม้ว่าจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบันส่องดูก็ยังไม่อาจมองเห็นอะตอมได้ อย่างไรก็ตามเรายังคงต้องการศึกษาเรื่องราวต่าง ๆ เกี่ยวกับอะตอม เราจึงต้องเลี้ยวไปใช้วิธีศึกษาทางอ้อมวิธีที่ดีที่สุด คือ การศึกษาการกระเจิงของอนุภาค เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ทั้งยังได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความจริงอีกด้วย (Engel, 1982 - 1)

เมื่อเรายิงรังสีแกมมาหรืออนุภาคใด ๆ เช่น แอลฟา ไปยังอะตอมของเป้า รังสีแกมมาหรืออนุภาคนั้นจะมีอันตรกิริยา (interaction) กับอะตอมของเป้า แล้วออกมาจากอะตอมของเป้าโดยมีการถ่ายโอนโมเมนตัมไปในทิศทางต่าง ๆ ขบวนการนี้เรียกว่า การกระเจิง (scattering) ศึกษาตามหลักการคงตัวของพลังงาน ถ้าพลังงานที่ถูกกระเจิงออกมามีค่าเท่ากับพลังงานก่อนชนอะตอมของเป้า ขบวนการนี้เรียกว่าการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) แต่ถ้าวพลังงานที่ถูกกระเจิงออกมาไม่เท่ากับพลังงานก่อนชนอะตอมของเป้า ขบวนการนี้เรียกว่าการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering)

ในการวัดค่าการกระเจิงของรังสีแกมมา เราวัดภาคตัดขวาง (cross section) แทนด้วยสัญลักษณ์ (σ) ซึ่งอาจนิยามได้ดังนี้

ภาคตัดขวางคือ โอกาสที่จะเกิดการกระเจิงบนอะตอมของเป้า เมื่อลำรังสีแกมมา
ไปตกกระทบบนเป้า หรือหมายถึงพื้นที่ภาคตัดขวางของเป้าที่ถูกชนโดยรังสีแกมมา ซึ่งมี
หน่วยเป็น (พื้นที่)⁻¹ (Jackson. 1970 . 2)

เมื่อยิงลำรังสีแกมมาไปยังอะตอมของเป้าใด ๆ แล้วโอกาสที่รังสีแกมมาจะถูกกระเจิง
ออกมาเนื่องจากอะตอมของเป้าทั้งหมดที่ถูกลำรังสีแกมมาตกกระทบบ เรียกว่าภาคตัดขวาง
สุทธิ (total cross section แทนด้วยสัญลักษณ์ $\sigma(\theta, \phi)$) แต่ถ้าพิจารณาโอกาสที่รังสีแกมมา
ถูกกระเจิงออกมาต่อ 1 มุมตัน จะเรียกว่า ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ (differential cross
section แทนด้วยสัญลักษณ์ $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta, \phi)$)

สำหรับภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์นี้ขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น (Burge.
1977 . 42 - 43)

1 มุมกระเจิง (scattering angle : θ) คือมุมระหว่างความเร็วของอนุภาค
ตกกระทบกับความเร็วของอนุภาคกระเจิง เช่น ในการทดลองของ รัทเธอร์ฟอร์ด หรือของ
คูโลมบ์ การกระเจิงเป็นฟังก์ชันของ $\text{cosec}^4 \frac{\theta}{2}$ ($\sigma \propto \left[\frac{ZZe^2}{2E} \right]^2 \text{cosec}^4 \frac{\theta}{2}$)

2. ธรรมชาติของอนุภาคที่ตกกระทบ เช่น มวล และประจุไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้
ยังมีสมบัติอื่น ๆ เช่น โมเมนตัมเชิงมุม สปิน การเป็นโพลาไรซ์หรือไม่เป็นซึ่งจะสัมพันธ์กับระนาบ
ของการกระเจิง

3 พลังงานของสิ่งที่ใช้อย่างหรือตกกระทบบ เป้า

4 ธรรมชาติของนิวเคลียสของเป้า ซึ่งมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับธรรมชาติของอนุภาคที่ตกกระทบบ เป้า
และ ยังรวมถึงโอกาสของสปินที่จะ อยู่ในแนวเดียวกันด้วย

5 พลังงานจลน์ของนิวเคลียสของเป้า ซึ่งปรกติในการทดลองมักให้เป็นศูนย์ คือ
ให้เป้าอยู่นิ่ง เพื่อความสะดวกในการทดลอง และการคำนวณค่าผลรวมพลังงานจลน์ของระบบ

๑. แบบของการกระเจิงคือ เป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่นหรือการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ถ้าเรายิงรังสีแกมมาไปยังอะตอมของเป้าจะเกิดการกระเจิงของรังสีแกมมาขึ้น การกระเจิงแบบนี้อาจเป็นแบบยืดหยุ่นหรือแบบไม่ยืดหยุ่น หรือมีทั้งแบบยืดหยุ่น และแบบไม่ยืดหยุ่นปนกันออกมาก็ได้ เช่น ถ้าใช้ทองแดงหรือตะกั่วเป็นเป้า ก็จะมีการกระเจิงทั้ง 2 แบบปนกันออกมา สำหรับการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมานั้นปรากฏว่า ประกอบด้วยการกระเจิงย่อย ๆ อีก 4 แบบ

1. การกระเจิงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering)
2. การกระเจิงแบบทอมสัน (nuclear Thomson scattering)
3. การกระเจิงแบบเดลบรุค (Delbrück scattering)
4. การกระเจิงแบบเรโซแนนซ์นิวเคลียร์ (nuclear resonant scattering)

จากการศึกษาการทดลองการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ปรากฏว่าการกระเจิงย่อย ๆ ทั้ง 4 แบบนี้มักจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันเสมอ จึงเป็นสิ่งสุทธวิสัยที่จะวัดค่าการกระเจิงแต่ละแบบได้โดยตรง นั่นคือ เราไม่สามารถแยกการกระเจิงแต่ละแบบออกจากกันได้ (Schumacher

and Borchert. 1976 : 2319) ดังนั้นในการศึกษาการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา จึงต้องถือว่าเป็นผลรวมของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้ง 4 แบบพร้อม ๆ กัน แต่ในทางทฤษฎี

เราสามารถหาค่าการกระเจิงแต่ละแบบโดยอาศัยเทอมของคลื่นโพลาไรซ์แบบเส้นตรง และคลื่นโพลาไรซ์แบบวง แม้ว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาจะประกอบด้วย การกระเจิง

แบบย่อย ๆ ที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันถึง 4 แบบก็ตาม แต่ก็มีการกระเจิงบางแบบเท่านั้นที่มีค่าเด่น

สำหรับพลังงานของรังสีแกมมาค่าหนึ่ง ๆ ที่ใช้ยิง ถ้าใช้รังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำ ๆ คือ น้อยกว่า

1.5 MeV การกระเจิงแบบเดลบรุค และการกระเจิงแบบเรโซแนนซ์นิวเคลียร์ จะมีค่าน้อยกว่า 5%

(Johnson and Cheng, 1976 : 692) ส่วนการกระเจิงแบบเรเลย์และการกระเจิงแบบทอมสันจะมีค่าเด่น ดังนั้นการทดลองสำหรับรังสีแกมมาในช่วงพลังงานนี้ เราจึงไม่พิจารณาผลของการกระเจิงแบบเดลบรูก และการกระเจิงแบบอภินาทนิวเคลียร์

ในปัจจุบันได้มีผู้เสนอทฤษฎีที่ใช้หาภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาไว้หลายวิธี (Preecha Teansompramong 1978 : 1-5)

1. วิธีการของฟรานซ์ (Franz) ใน ค.ศ 1935 ฟรานซ์เป็นคนแรกที่หาการกระเจิงแบบเรเลย์ โดยใช้การกระจายของอิเล็กตรอนแบบทอมสัน - เพื่อรับมือะยอม
2. การหาภาคตัดขวางการกระเจิงแบบเรเลย์ และแบบทอมสัน โดยใช้เค - เชลล์ ฟอรั่มแฟคเตอร์ ของเบธ (K - shell form-factor of Bethe)
3. วิธีการของบราวน์เพียร์ลส์ และ วูดเวิร์ด (Brown, Peierls and Woodward) ซึ่งได้หาค่าการกระเจิงแบบเรเลย์ โดยใช้ ดิแรค - ฮาร์ทรี - โฟค - สเลเตอร์ เวฟฟังก์ชัน (Dirac - Hartree - Fock - Slater (DHFS) wave function)
4. การหาการกระเจิงแบบเรเลย์ โดยใช้ บราวน์ ฟอรั่มแฟคเตอร์ (Brown - form factor)
5. การหาการกระเจิงแบบเรเลย์โดยใช้ เพียว ฟอรั่มแฟคเตอร์ (pure - form factor) ซึ่งเป็นวิธีการของ บรีเนอร์ (Brener)
6. เกรฟฟิงเกอร์ (Grefinger) ได้ใช้เทคนิคของฟายน์แมน และ ทฤษฎีของลีวีงเจอร์ คำนวณการกระเจิงแบบเรเลย์ของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.33 MeV จากอิเล็กตรอนชั้นเคในตะกั่ว
7. วิธีการของ มูน (Moon) โดยเสนอการหาการกระเจิงแบบทอมสัน ในปี

๐. สเมนด์ และ ชู แมคเคอร์ (Smend and Schumacher) ได้เสนอวิธี
การหาการกระเจิงแบบเรเลย์ ในปี ค.ศ. 1979 เรียกว่า เค แอล เอ็ม และ เอ็น
ฟอร์มแฟคเตอร์ (K-L-M and N form factor) โดยใช้ ฟูล ดิแรก คูลอมบ์ เวฟฟังก์ชัน
(full Dirac Coulomb wave function)

๑ ในปี ค.ศ. 1979 จอห์นสัน และ เซ็ง (Johnson and Cheng)
ได้หาการกระเจิงแบบเรเลย์ โดยใช้วิธี second order s matrix in the furry or
bound interaction on picture

ไม่มีทฤษฎีในทางวิทยาศาสตร์ทฤษฎีใดที่จะพัฒนาไปได้ไกล และเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป
โดยปราศจากผลการทดลองสนับสนุน ดังนั้น ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาการทดลองการ
วัดภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาจาก ยูไรเนียม - 152
ที่มีพลังงาน 0.344 และ 1.460 MeV โดยวัดมุมกระเจิงระหว่าง 15° - 45° และใช้ตะกั่วเป็นเป้า
เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลจากทางทฤษฎี และผลจากการทดลองของคนอื่น ๆ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

- 1 เพื่อศึกษาการวัดภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา
ที่มีพลังงาน 0.344 และ 1.460 MeV มีมุมกระเจิงระหว่าง 15° - 45° โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า
- 2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น
ของรังสีแกมมา ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ได้โดยการพัวด้วยวิธีคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมที่ดัดแปลงมาจาก

มหาวิทยาลัย เจมส์คุก ออสเตรเลีย กับผลการทดลองอื่น ๆ และ เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากทฤษฎีที่คำนวณโดยใช้ ฟอรัมแพคเตอร์

3 เพื่อศึกษาขบวนการการทดลองหาภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่มีพลังงานประมาณ 1 MeV โดยใช้เครื่องวัดซินทิลเลชัน ซึ่งใช้ผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (NaI (Tl))

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1 เพื่อ เป็นแนวทางในการหาข้อสรุปว่า ทฤษฎีการหาภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา โดยใช้ฟอรัมแพคเตอร์นั้นน่าเชื่อถือ มีเหตุผล ควรเป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำกว่า 1 MeV คือ 0.344 MeV ที่คำนวณจากฟอรัมแพคเตอร์ จะเป็นผลรวมเฉพาะการกระเจิงแบบเรเลย์ และ แบบทอมสัน แต่ที่พลังงาน 1.408 MeV นั้น $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จะมีส่วนของการกระเจิงแบบเคลบรูครวมเข้าไปด้วย

2 เพื่อ เป็นแนวทางในการจัดการทดลองการวัดภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของรังสีแกมมา ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ในระดับอุดมศึกษาต่อไป

ขอบเขตในการศึกษาค้นคว้า

1 ภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่วัดได้ในการทดลองนี้ จะถือว่าเป็นผลรวมของการกระเจิงแบบเรเลย์ และการกระเจิงแบบทอมสัน เท่านั้น ซึ่งคำนวณโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 ชุด คือ BAKFIT และ GAMMA

2 ดัชนีกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ คือ ยูโรเพียม -152 (Europium; ^{152}Eu) ขนาด 0.677 คูรี และใช้เครื่องวัดซินทิลเลชันซึ่งมีตัวเรืองแสงเป็นผลึกโซเดียมไอโอไดด์ ขนาด 1" x 1"

3 เป้าที่ใช้เป็นตะกั่วหนา 0.33 เซนติเมตร และอลูมิเนียมหนา 0.70 เซนติเมตร

ขนาด 5 × 5 เซนติเมตร

4 การวัดการกระเจิงนี้เลือกใช้มุมกระเจิงระหว่าง $15^\circ - 45^\circ$ เหตุที่ใช้มุมในช่วงนี้ก็เพื่อให้เปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ ได้

5 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณจากทฤษฎี โดยใช้สูตรฟอร์มแฟกเตอร์นั้นได้มาจากการใช้โปรแกรม

AGGY

นิยามศัพท์เฉพาะ

1 การกระเจิง (scattering) คือ การที่อนุภาคหรือรังสีวิ่งไปชนเป้า แล้วมีผลให้อนุภาคหรือรังสีอันเดิมหรืออันใหม่วิ่ง เบี่ยงเบนไปจากทิศทางเดิม

2 การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) คือ การกระเจิงที่พลังงานทั้งหมด ทั้งก่อนและหลังอันตรกิริยาจะยังคงเดิม และนิวเคลียสที่เกิดใหม่จะต้องอยู่ในสถานะปกติ

3 มุมกระเจิง (scattering angle) คือ มุมในการกระเจิงของอนุภาคหรือรังสีที่เบนไปจากแนวตกกระทบเดิม

4 ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ (differential cross section, $\frac{d\sigma}{d\Omega}$) คือ โอกาสที่อนุภาคหรือรังสีแกมมาจะถูกกระเจิงออกมาจากอะตอมของเป้าต่อ 1 มุมตัน

5 แอมพลิจูดของการกระเจิง (scattering amplitude) คือ แอมพลิจูดของคลื่นที่กระเจิงออกมาจากเป้า เช่น ถ้า e^{ikz} เป็นคลื่นระนาบที่ตกกระทบบน k เป็นเลขคลื่น คลื่นที่กระเจิงออกมาระยะทาง r จากศูนย์กลางของการกระเจิง จะเขียนแทนด้วย $\frac{Ae^{ikr}}{r}$ โดยที่ A คือ แอมพลิจูดของการกระเจิง

บทที่ ๒

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) คือ การกระเจิงที่พลังงานทั้งหมดไม่เป็นไปตามหลักการคงตัวของพลังงาน คือพลังงานจลน์ของอนุภาคทั้งหมดก่อนและหลังอันตรกิริยามีค่าไม่เท่ากัน (แต่โมเมนตัมมีค่าเท่ากัน) และนิวเคลียสที่เกิดใหม่จะอยู่ในสถานะกระตุ้น การกระเจิงชนิดนี้ที่สำคัญคือ การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) ส่วนการกระเจิงที่มีพลังงานทั้งหมดเป็นไปตามหลักการคงตัวของพลังงาน คือพลังงานจลน์ของอนุภาคทั้งหมดก่อนและหลังอันตรกิริยามีค่าเท่ากัน และนิวเคลียสที่เกิดใหม่อยู่ในสถานะปกติ เรียกว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น ๔ แบบ คือ

1. การกระเจิงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering)
2. การกระเจิงแบบทอมสัน (nuclear Thomson scattering)
- ~~3. การกระเจิงแบบเดิลบรุค (Deibbruck scattering)~~
4. การกระเจิงแบบเรโซแนนซ์นิวเคลียร์ (nuclear resonant scattering)

การกระเจิงแบบเรเลย์

การกระเจิงแบบเรเลย์มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การกระเจิงเรโซแนนซ์ของอิเล็กตรอน (electron resonance scattering) ขบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อเรายิงรังสีแกมมาที่มีพลังงาน ω ไปยังอะตอมของเป้า รังสีแกมมานี้จะถูกอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นของอะตอมดูดกลืนไว้ ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานอยู่ในสถานะกระตุ้น และจะมีรังสีแกมมาที่มีพลังงานเดียวกันถูกส่งออกมาจากอะตอม แล้วอิเล็กตรอนก็จะกลับไปสู่สถานะปกติของมัน (Roy and Reed, 1968 : 240)

ขบวนการกระเจิงนี้พบครั้งแรกในขบวนการแทรกสอดของ X-Ray และมีการคำนวณหา
ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่มุม 15° โดย ฟรานซ์ ในปี ค.ศ. 1936 ฟรานซ์ได้สร้างสูตรใน
ภาคคำนวณ ภาคตัดขวางขบวนการกระเจิงแบบเรเดย์ ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 8.67 \times 10^{-33} (E_0/\hbar\omega)^3 (1 + \cos^2\theta) / 2 \sin^3 \frac{\theta}{2}$$

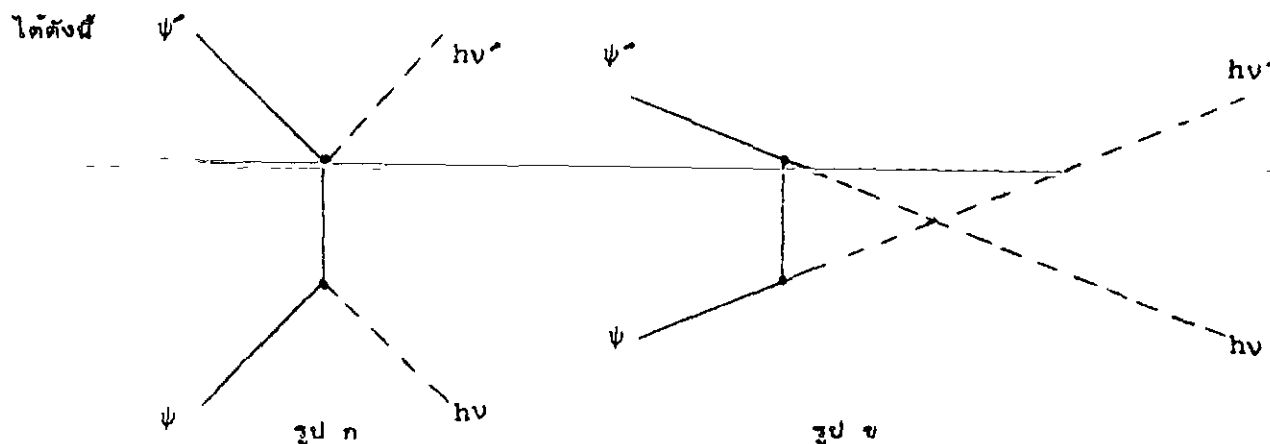
เมื่อ E_0 = พลังงานนิ่งของอิเล็กตรอน

$\hbar\omega$ = พลังงานของรังสีตกมา

θ = มุมกระเจิง

ฟรานซ์ คำนวณสูตรนี้โดยใช้การประมาณแบบ ทอมสัน-เพอร์มี สำหรับการกระจายของ
อิเล็กตรอนในอะตอม

เราอาจแยกขบวนการกระเจิงแบบนี้ได้เป็น 2 กรณี ซึ่งแสดงโดยแผนภาพของ ฟายน์แมน



1 ขบวนการดูดกลืน (absorption) รูป ก อิเล็กตรอนที่ถูกยึดเหนี่ยวในอะตอมจะ
ดูดกลืนรังสีตกมาที่กระแทก ($h\nu$) เข้าไปจนผลทำให้อิเล็กตรอน (ψ) ซึ่งถูกยึดเหนี่ยวอยู่ภายใน
อะตอมไปอยู่ในสถานะกระตุ้น

2 ขบวนการคาย (emission) รูป ข ขณะเดียวกันจะมีรังสีตกมา ($h\nu'$) ซึ่งมี
ขนาดเท่ากับ $h\nu$ ถูกปล่อยออกมา และอิเล็กตรอน (ψ) ก็กลับไปสู่สถานะปกติ

ได้มีหลายทฤษฎีแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนแล้วว่า ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบเรเลย์ นั้นได้มาจากอิเลคตรอนในชั้น เค เป็นอันดับแรก แล้วตามด้วยจากชั้น แอล เอ็ม เอ็น ตามลำดับ โดยทั่วไปการคำนวณภาคตัดขวางแบบเรเลย์จะคำนวณจากชั้น เค และ แอล สำหรับชั้น เอ็ม เอ็น จะมีความสำคัญลดลงตามลำดับจนอาจตัดทิ้งไป

เทคนิคอย่างหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาภาคตัดขวาง คือ การศึกษาในเทอมของแอมพลิจูด โดยไม่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีสัมพันธภาพ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1 แอมพลิจูดแบบหมุนกลับ (spin flip amplitude, A_{SF}) คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของโพลาไรเซชันแบบวง (circular polarization)

2 แอมพลิจูดแบบไม่หมุนกลับ (non spin flip amplitude; A_{NSF}) คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโพลาไรเซชันแบบวง กำหนดให้

$$|A_{SF}| + |A_{NSF}| = |A|$$

และ

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R = r_0^2 \left(|A_{SF}|^2 + |A_{NSF}|^2 \right)$$

เมื่อ

$$A_{SF} = A^R + Z^2 \frac{m}{M} \frac{1}{2} (\cos\theta + 1)$$

$$A_{NSF} = A^R + Z^2 \frac{m}{M} \frac{1}{2} (\cos\theta - 1)$$

โดยที่ A^R = แอมพลิจูดซึ่งเป็นผลรวมของการกระเจิงแบบเรเลย์ชั้น เค แอล เอ็ม เอ็น

m = มวลของอิเล็กตรอน

M = มวลของนิวเคลียส

r_0 = 2.818×10^{-13} เซนติเมตร

ในปัจจุบันการคำนวณหาคาบสมมูลรวมของการกระเจิงแบบเรเลย์ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี

คือ (Teansomprasong 1978 - 29)

- 1 ใช้แอมพลิจูด จอห์นสัน-เซียง เรเลย์ สัญลักษณ์แทนด้วย $JC_R NSF/SF$
- 2 ใช้แอมพลิจูด บรรานี ฟอรัมแฟคเตอร์ สัญลักษณ์แทนด้วย $BR-FF_R NSF/SF$
- 3 ใช้แอมพลิจูด เพียว ฟอรัมแฟคเตอร์ สัญลักษณ์แทนด้วย $FF_R NSF/SF$

แอมพลิจูดเพียว ฟอรัมแฟคเตอร์เรเลย์ มีสมการพื้นฐาน 2 สมการ คือ

$$R''_1(\omega, 0) = -\cos F_1(\Lambda)$$

$$R'_1(\omega, \theta) = -F_1(\Lambda)$$

ซึ่ง $F_1(\Lambda)$ เป็นฟอรัมแฟคเตอร์ สำหรับวงโคจรของอิเล็กตรอนชั้นที่ i ($i = K, L, M, N \dots$)

$$F_1(\Lambda) = 2|K_1| \int d^3x \phi_1^+(x) \exp(i\Lambda \cdot x) \phi_1(x) f(r)$$

เมื่อ $x = (r, \Omega)$, $\Lambda = K_1 - K_f$ คือ การเปลี่ยนเวกเตอร์คลื่นของรังสีตกมา
ระหว่างขบวนการกระเจิง

และ $2|K_1|$ เป็นจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรที่ 1 ซึ่งมีฟังก์ชันคลื่นเป็น $\phi_1(x)$ ส่วน $f(r)$

ฟังก์ชันคลื่นเชิงรัศมี (radial wave function) มีอยู่ 2 ค่า คือ

$$1. f(r) = 1$$

$$\text{ดังนั้น } F_1(\Lambda) \rightarrow f_1(\Lambda) = 2|K_1| \int d^3x \phi_1^+(x) \exp(i\Lambda \cdot x) \phi_1(x)$$

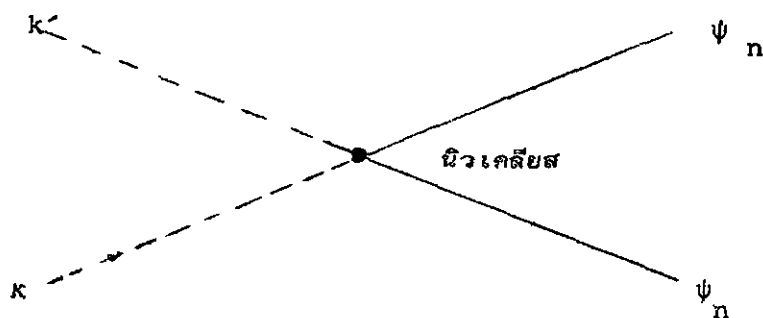
$$2. f(r) = mc^2 / (E_1 + V(r))$$

$$\text{ดังนั้น } F_1(\Lambda) \rightarrow g_1(\Lambda) = 2|K_1| \int d^3x \phi_1^+(x) \frac{mc^2 \exp(i\Lambda \cdot x)}{E_1 + V(r)} \phi_1(x)$$

ซึ่ง $f_1(\Lambda)$ และ $g_1(\Lambda)$ เรียกว่า ฟอรัมแฟคเตอร์

การกระเจิงแบบทอมสัน

การกระเจิงแบบทอมสัน มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การกระเจิงโดยประจุไฟฟ้านิวเคลียส (scattering by nuclear charge) ขบวนการที่เกิดขึ้นแสดงได้ด้วยแผนภาพฟายน์แมน ดังนี้



k, k' คือ รังสีตกกระทบและรังสีกระเจิง

ψ_n, ψ'_n คือ ฟังก์ชันคลื่นของรังสีตกกระทบและรังสีกระเจิง

การกระเจิงแบบนี้เกิดขึ้น เมื่อรังสีแบบไม่โพลาไรซ์ไปกระทบ นิวเคลียสของเป้า แล้วก็มีรังสีถูกกระจายออกมาเนื่องจากประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสในแบบไม่โพลาไรซ์ในระนาบของ

การกระเจิง สูตรการคำนวณภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ใน เทอมของมุมกระเจิง คือ

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{4} r_0^2 (1 + \cos^2\theta)$$

$$r_0 = \frac{e^2}{mc^2} = 2.818 \times 10^{-13} \text{ เซนติเมตร}$$

$$\theta = \text{มุมกระเจิง}$$

สูตรการคำนวณภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ใน เทอมของแอมพลิจูดมีดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_T &= r_0^2 \sum_{\text{pol}} |A|^2 \\ &= r_0^2 \sum_{\text{pol}} \left(|A_H^T|^2 + |A_V^T|^2 \right) \end{aligned}$$

เมื่อ A_H^T คือ แอมพลิจูดที่ขนานกับระนาบกระเจิง

A_V^T คือ แอมพลิจูดที่ตั้งฉากกับระนาบกระเจิง

หรืออาจเขียนในเทอมแอมพลิจูดในลักษณะ A_{NSF} และ A_{SF} ตามลำดับ ดังนี้

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_T = r_0^2 \int_{pol} \left[\left[\left(-\frac{Z^2 m}{M}\right) \left(\frac{\cos\theta - 1}{2}\right) \right]^2 + \left[\left(-\frac{Z^2 m}{M}\right) \left(\frac{\cos\theta + 1}{2}\right) \right]^2 \right]$$

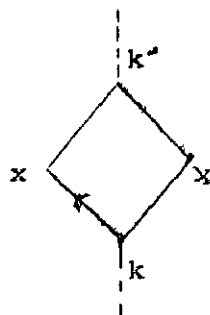
m คือ มวลของอิเล็กตรอน

M คือ มวลของนิวเคลียส

θ คือ มุมกระเจิง

การกระเจิงแบบเดลบรูค

การกระเจิงแบบเดลบรูคมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การกระเจิงโดยสนามคูลอมบ์ (scattering by a nuclear Coulomb field) เกิดจากเมื่อเรายังรังสีแกมมาไปยังอะตอมของเป้า แล้วปรากฏว่ามีรังสีแกมมากระจายออกมาเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของนิวเคลียส ขบวนการเกิดปรากฏการณ์นี้สามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพฟายน์แมน ดังนี้



k, k' คือ รังสีตกกระทบ และรังสีกระเจิง

'x' คือ การกระเจิงโดยศักยนิวเคลียร์

◇ เรียกว่า เฟอว์ม็อนลูป ซึ่งหมายถึง แผนภาพแทนปฏิกิริยาซึ่งเป็นรูปปิด

การศึกษาการกระเจิงแบบเดลบรูค เราจะถือว่าสนามคูลอมบ์อยู่นิ่ง และการกระจายของรังสีแกมมาเป็นแบบยืดหยุ่น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นอย่างไรย่อมเกี่ยวข้องกับพลังงานศักย์ของนิวเคลียส ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์แบบเดลบรูคในเทอมของมุมกระเจิง เขียนได้ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta, h\nu) = |a(\theta, h\nu)|^2 (\alpha Z)^2 r_0^2$$

α = ค่าคงที่

a = แอมพลิจูดของการกระเจิง ซึ่งประกอบด้วยทั้งส่วนจริงกับส่วนจินตภาพดังสมการ

$$a(\theta, h\nu) = a_1(\theta, h\nu) + ia_2(\theta, h\nu)$$

a_1 เรียกว่า ส่วนกระจาย

a_2 เรียกว่า ส่วนดูดกลืน

ถ้าใช้ตะกั่วเป็นเป้า

รังสีแกมมา > 10 MeV ส่วนจินตภาพจะมีลักษณะเด่น

รังสีแกมมา < 10 MeV ส่วนจริงจะมีลักษณะเด่น

ปาปัสซาคอสและมอร์ค (Papazacos and Mork. 1975 : 97) ได้ใช้วิธีการ

ประมาณแบบ บอห์ร ทาการกระเจิงแบบเดลบรูคได้สมการ ดังนี้

$$D_{\perp}(\omega, \theta) = (\alpha Z)^2 f_D(\omega, \theta)$$

และ

$$D_{\parallel}(\omega, \theta) = (\alpha Z)^2 f_D(\omega, \theta) \cos \theta g_D(\omega, \theta) \sin^2 \theta$$

เมื่อ $D_{\perp}(\omega, \theta)$ คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเดลบรูคในแนวตั้งฉากกับระนาบของการกระเจิง

$D_{\parallel}(\omega, \theta)$ คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเดลบรูคในแนวขนานกับระนาบของการกระเจิง

การกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์

การกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์เกิดขึ้นเมื่อเรายังรังสีแกมมาไปยังอะตอมของเป้า แล้วนิวเคลียสมีการดูดกลืนพลังงานนี้ไว้ จึงทำให้ระดับพลังงานของนิวเคลียสสูงขึ้นจากสถานะปกติไปสู่สถานะกระตุ้น และเพื่อให้นิวเคลียสมีพลังงานที่ถูกต้อง (คืออยู่ในสถานะปกติ) ดังนั้น นิวเคลียสซึ่งกำลังอยู่ในสถานะกระตุ้นก็จะมีการปล่อยรังสีแกมมาออกมาเพื่อกลับสู่สถานะปกติ ซึ่งขบวนการนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1 พลังงานรังสีแกมมาเข้าใกล้พลังงานอภินาตนิวเคลียร์ (photon energy near nuclear resonant energy) จะเกิดในช่วงพลังงานตา และเป็นการกระเจิงที่สังเกตเห็นได้ยาก ทั้งนี้เพราะโอกาสที่จะให้พลังงานของรังสีแกมมาที่พอเหมาะเพื่อให้นิวเคลียสไปสู่สถานะกระตุ้น และกลับสู่สถานะปกติอีกเป็นไปได้ยาก

2 พลังงานของรังสีแกมมาไกลจากพลังงานอภินาตนิวเคลียร์ (photon energy far from nuclear resonant energy) มีขบวนการเกิดเหมือนกับแบบแรกเพียงแต่การกระเจิงแบบนี้จะเกิดในช่วงปลายของการกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์ทั้งหมด

สมการที่ใช้คำนวณหาภาคตัดขวางการกระเจิงแบบนี้ เขียนได้ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = (e^2/mc^2)^2 (h/E)^4 \left(\frac{NZ}{A} (1 + 0.8X) \right)^2 \frac{1}{2} (1 + \cos^2\theta)$$

เมื่อ E คือ ค่าเฉลี่ยของพลังงานนิวเคลียร์

N คือ จำนวนของนิวคลีออน

A คือ เลขมวล

X คือ สัดส่วนของแรงระหว่างนิวคลีออนซึ่งถือว่าเป็นแรงดึงดูด

สำหรับการคำนวณภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์แบบนิวเคลียร์ในเทอมของแอมพลิจูด

มีสูตรดังนี้ (Whittingham. 1978 46)

$$f_n(\omega, \theta) = \frac{\epsilon_n^{(f)*} \epsilon_n^{(i)} \sigma_1 \Gamma_1 (\hbar\omega)^2 E_1^2 - (\hbar\omega)^2 + 1 \hbar\omega \Gamma_1}{4 \hbar c (E_1^2 - (\hbar\omega)^2)^2 + (\hbar\omega \Gamma_1)^2}$$

การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน เกิดขึ้นเมื่อเรายิงรังสีแกมมาไปยังอะตอมของเป้า แล้วรังสีแกมมาจะไปชนอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นของอะตอม ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระ และรังสีแกมมาถูกกระเจิงออกมา ซึ่งปรากฏการณ์นี้ค้นพบโดย คอมพ์ตัน (Compton) ต่อมา ไคลน์ และ นิชิโนะ (Klein and Nishina) อาศัยการคำนวณทางควอนตัมเมคานิกส์ แบบสัมพัทธภาพ ศึกษาภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบนี้อยู่ในเทอมของแอมพลิจูด และได้สูตรการคำนวณค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \left(\frac{\omega'}{\omega} \right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega'} + \frac{\omega'}{\omega} - 2 + 4 \cos^2 \theta \right)$$

เมื่อ ω และ ω' = พลังงานของรังสีแกมมาตกกระทบ และที่กระเจิงออกมา

$$r_0 = e^2 / mc^2$$

$$= 2.818 \times 10^{-13} \text{ เซนติเมตร}$$

θ = มุมระหว่างรังสีแกมมาที่ตกกระทบและที่กระเจิงออกมา

ซึ่งอยู่ในระนาบของโฟลาไรเซชัน

ผลงานวิจัยในเรื่องการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำส่วนใหญ่เป็นงานวิจัย

ในต่างประเทศ เช่น

เบตสกี และ สตารอดอบเตฟ (Bel'skii and Starodobtev. 1960 : 700)

ได้ศึกษาการกระเจิงแบบเรเลย์ของรังสีแกมมาที่ค่าพลังงานต่าง ๆ พบว่า ในช่วงพลังงานรังสีแกมมา $\leq 5 \text{ MeV}$ จะไม่มีโอกาสที่จะแยกการกระเจิงแบบคอมพ์ตันออกจากการกระเจิงแบบเรเลย์ได้เลย

เบิร์นสไตน์ และ มานน์ (Bernstein and Mann. 1958 . 110) พบว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้ง 4 แบบจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันเสมอ จึงเป็นการยากที่จะแยกการกระเจิงแต่ละแบบออกจากกันด้วยการทดลอง รอย และ รีด (Roy and Reed 1968 . 240) พบว่าการกระเจิงแบบเรเลย์มีเปอร์เซ็นต์การเกิดสูงตามด้วยการกระเจิงแบบทอมสัน เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 MeV และมีมุมกระเจิงเล็ก ๆ ลิวิงเจอร์ (Livingier. 1951 . 523) พบว่า ภาคตัดขวางของการกระเจิง แบบอภินาตนิวเคลียร์จะมีค่าน้อย จึงไม่จำเป็นต้องมาพิจารณาในการคำนวณ แต่รังสีแกมมามีพลังงานระหว่าง ๑ - 20 MeV ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์จะเริ่มมีค่าสูงขึ้น

มูน (Moon 1950 . 1189) ได้ทำการวัด ภาคตัดขวางของการกระเจิงของรังสีแกมมาที่พลังงาน ๐.41 MeV โดยใช้ลูมิเอนิม ทองแดง และตะกั่ว เป็นเป้า เขาพบว่าที่พลังงานนี้การกระเจิงแบบเรเลย์ปรากฏออกมาอย่างเด่นชัด เจน คอยา สตอร์สท์ (Storruste. 1950 . 1197) ได้ศึกษาต่อโดยใช้มุมกระเจิง $30^{\circ} - 150^{\circ}$ ในการศึกษาหาภาคตัดขวาง เขายอมรับทฤษฎีที่นำเทคนิคการคำนวณโดยใช้ ฟอรั่มแองเคเตอร์ ของ ฟรานซ์ ที่ใช้หาการกระเจิงแบบเรเลย์

เดวี (Davey 1953 . 1059) ได้ทำการวัด ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1.33 และ 2.78 MeV ระหว่างมุม $40^{\circ} - 120^{\circ}$ โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า เขาพบว่าถ้าใช้รังสีแกมมาพลังงาน 1.33 MeV ผลการทดลองจะสอดคล้องกับทางทฤษฎีซึ่งเป็นผลรวมของการกระเจิงแบบเรเลย์และแบบทอมสันเป็นอย่างดี ภาคตัดขวางการกระเจิงแบบเรเลย์นี้ คำนวณได้จากสูตรของ ฟรานซ์ ส่วนรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 2.78 MeV ผลการทดลองมีค่าสูงกว่าผลทางทฤษฎีทุกค่ามุม ซึ่งเขาเชื่อว่า อาจเป็นผลจากการกระเจิงแบบเคลบรูดด้วย

เมอร์ที และ คนอื่น ๆ (Murty and others. 1956 : 296) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาพลังงาน 1.12 MeV ที่มุม 20° , 30° , 45° , 60° และ 90° โดยใช้ ตะกั่ว ทองคำขาว ดีบุก และแท่นทาลัม เป็นเป้าแล้วเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลทางทฤษฎี ซึ่งคำนวณจาก ฟอर्मแฟคเตอร์ ของ เบธ และสูตรของ บราวน์ ปรากฏว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของดีบุกมีค่า สอดคล้องกับ ฟอर्मแฟคเตอร์ สำหรับมุมกระเจิง 20° , 30° และ 45° ส่วนมุมกระเจิง 60° และ 90° ความสอดคล้องจะลดลง ส่วน $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของตะกั่ว ทองคำขาว และแท่นทาลัม ที่มุมกระเจิง 20° , 30° , 35° และ 90° ผลการทดลองสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลทางทฤษฎี

สตอร์รัสท์ และ ทอน (Storruste and Tjon 1958 . 151) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV มุมกระเจิงระหว่าง 1° - 8° โดยใช้ ทองแดงและตะกั่วเป็นเป้า ปรากฏว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับผลทางทฤษฎีที่ใช้ฟอर्मแฟคเตอร์

ชูมเมอร์ (Schumacher 1968 - 7) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมา พลังงาน 145, 279, 412 และ 622 keV ระหว่างมุม 30° - 150° โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า ได้ผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีของ บราวน์

สเมนค์ และ คนอื่น ๆ (Smend and others 1973 : 309) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาพลังงาน 622 และ 279 keV ระหว่างมุม 45° - 135° โดยใช้ตะกั่ว ดีบุก สังกะสี และแท่นทาลัม เป็นเป้าแล้วเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลทางทฤษฎี ซึ่งรวม การกระเจิงแบบเรเลย์ และแบบทอมสัน ซึ่งทฤษฎีแอมป์ลิจูดเรเลย์ใช้พื้นฐานของทฤษฎีของการรบกวนอันดับสองรวบรวมโดยบราวน์ และฟอर्मแฟคเตอร์ ที่คำนวณจากสัมพันธภาพ HFS พังก์ชันคลื่น ปรากฏว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองกับจากทฤษฎีแตกต่างกันประมาณ 6%

ชูมเมอร์ และ คนอื่น ๆ (Schumacher and others 1972 531) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากรังสีแกมมาพลังงานระหว่าง 0.145 ถึง 1.33 MeV ระหว่าง 30° - 150°

โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า เปรียบเทียบผลกับผลทางทฤษฎีซึ่งรวมการกระเจิงแบบยืดหยุ่น 3 แบบ คือ การกระเจิงแบบเรเลย์ ทอมสัน และแบบเดลบรูก สำหรับการกระเจิงแบบเรเลย์ ใช้ แอมพลิจูดของชั้น เค จากทฤษฎีของ บราวน์ ส่วนแอมพลิจูดชั้นอื่น ๆ ใช้จาก ฟอรั่มแฟคเตอร์ แบบสัมพันธ์ภาพ HFS พังก์ชันคลื่น ปรากฏว่า สำหรับรังสีแกมมาพลังงาน 145, 889 1120 และ 1332 keV $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองไม่สอดคล้องกับผลทางทฤษฎี ส่วนที่รังสีแกมมาพลังงาน 279 412 และ 862 keV $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองกับผลทางทฤษฎีสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

ฮาร์ดี้ และ คนอื่น ๆ (Hardie and others 1971 1287) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาพลังงาน 1.33 MeV ระหว่างมุม 12 - 60° โดยใช้ ตะกั่ว และยูเรเนียม เป็นเป้า โดยศึกษาในเทอมของส่วนจริงของแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น โดยสร้าง ความสัมพันธ์เฟสระหว่าง 2 โพลาไรเซชัน ปรากฏว่า ผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีไม่ สอดคล้องกัน

สเมนด์ และ ชูแมคเคอร์ (Smend and Schumacher. 1973 423 - 426) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาพลังงานระหว่าง 145 - 760 keV ระหว่างมุม 45° - 135° โดยใช้เป้าที่มีเลขอะตอมจาก 30 ถึง 82 $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ นี้ คำนวณจาก ฟอรั่มแฟคเตอร์ และ "คอร์เรท ฟอรั่มแฟคเตอร์" จากสัมพันธ์ภาพ HFS พังก์ชันคลื่น และใช้วิธีการทดลองหาแอมพลิจูดของการกระเจิงจาก ฟอรั่มแฟคเตอร์ ปรากฏว่า ผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีสอดคล้องกันดี โดยมีความแตกต่างกันเพียงประมาณ 6 % เว้นที่รังสีแกมมาพลังงาน 279 keV และมีเลขอะตอม >70 มีผลแตกต่างกันถึง 12% เมื่อมุมกระเจิง >90

จอห์นสัน และ เซ็ง (Johnson and Cheng. 1976 692) ได้คำนวณแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเลย์ สำหรับชั้น เค และชั้นอื่น ๆ โดยใช้รังสีแกมมาพลังงาน 0.1 - 1.0 MeV ระหว่างมุม 0 - 150° โดยใช้ธาตุที่มีเลขอะตอมจาก 30 - 80 เป็นเป้า ปรากฏว่า ถ้าใช้รังสีแกมมาพลังงาน 0.279 0.862 และ 0.889 MeV มีตะกั่วเป็นเป้า ผลการทดลองกับ ผลทางทฤษฎีสอดคล้องกัน โดยมีความแตกต่างกันระหว่างผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีประมาณ

5% ถึง 20% และที่พลังงาน 0.889 MeV มีความแตกต่างกัน 5% ส่วนที่พลังงาน 0.279 MeV มีความแตกต่างกัน 20%

วิลม จิตวัฒนากร (Wimon Chitwattanagorn. 1976 : 60 - 80) ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่มุม 10° , 20° และ 30° โดยใช้รังสีแกมมาจากยูเรเนียม - 152 ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV มีตะกั่วเป็นเป้า พบว่า การทดลองครั้งนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้ทางทฤษฎีในการวัดที่เป็นการกระเจิงแบบเรเลย์ร่วมกับแบบทอมสันที่รังสีแกมมาพลังงาน 0.344 MeV และได้ผลสอดคล้องกับการคำนวณของ จอห์นสัน และ เซ็ง แต่ก็มีบางส่วนไม่สอดคล้องกันเมื่อเปรียบเทียบ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ กับการคำนวณในชั้น เค ของ บราวน์ และคนอื่น ๆ กับการคำนวณแบบฟอร์มแฟคเตอร์ของชั้นอื่น ๆ และเมื่อเปรียบเทียบผลกับ เทียฟฟอร์มแฟคเตอร์ด้วยส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV ผลการทดลองสอดคล้องเป็นอย่างดีกับการคำนวณที่ใช้ ฟอร์มแฟคเตอร์ โดยไม่รวมกรณีชั้น แอล ที่ไม่หมุนกลับ (NSF) มาคำนวณด้วย

ริททิงแฮม (Whittingham. 1978 : 2) ได้ศึกษาเปรียบเทียบทฤษฎีภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาพลังงาน 344, 779, 968, 1086, 1112 และ 1408 keV โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า ระหว่างมุม $0^\circ - 150^\circ$ สำหรับแอมพลิจูดการกระเจิงแบบเรเลย์ คำนวณจาก 3 วิธี คือ 1 การคำนวณของจอห์นสัน - เซง 2 การคำนวณของ บราวน์ ในชั้น เค รวมกับชั้นอื่นโดยใช้ ฟอร์มแฟคเตอร์ 3 แอมพลิจูด ฟอร์มแฟคเตอร์สำหรับทุกชั้น แอมพลิจูดแบบทอมสันรวมสำหรับทุกพลังงาน ส่วนการกระเจิงแบบเดลบรุคใช้การคำนวณของ ปาปัสซาคอส และ มอร์ค และตัดการกระเจิงแบบอภินาถนิวเคลียร์ ปรากฏว่าผลการคำนวณโดยใช้ จอห์นสัน - เซง น้อยกว่าการใช้ บราวน์ฟอร์มแฟคเตอร์ เมื่อรังสีแกมมา มีพลังงานสูง และมีมุมกระเจิงกว้าง ส่วนภาคตัดขวางที่ใช้ เทียฟฟอร์มแฟคเตอร์ จะมากกว่าการใช้วิธีอื่น ๆ และเมื่อรวมการกระเจิงแบบเดลบรุคที่ 1408 keV จะต่ำกว่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงเมื่อมุมกระเจิง $< 75^\circ$ และ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระเจิง $> 75^\circ$

ปรีชา เทียนสมประสงค์ (Preecha Teansomprasong. 1979 : 83 - 86)
ได้ทำการวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ โดยใช้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ระหว่างมุม
 $3^\circ - 35^\circ$ มีตะกั่วเป็นเป้า พบว่า การทดลองนี้สอดคล้องกับทางทฤษฎีเมื่อมุมกระเจิง $\leq 15^\circ$
และความสอดคล้องจะลดลงเมื่อมุมกระเจิง $\geq 20^\circ$ และผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการ
ทดลองของคนอื่น ๆ ด้วย

วิลม จิตวัฒนากร และคนอื่น ๆ (Wimon Chitwattanagorn and others.
1980 : 1147 - 1168) ได้เปรียบเทียบ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ กับผลทางทฤษฎีของจอห์นสันและเซ็ง บราวน์
ฟอร์มแฟคเตอร์ และเคียวฟอร์มแฟคเตอร์ ระหว่างมุม $3^\circ - 45^\circ$ ที่พลังงาน 0.344 และ
1.408 MeV โดยใช้ตะกั่วเป็นเป้า ปรากฏว่าผลการทดลองสอดคล้องกับผลทางทฤษฎีอย่างชัดเจน

กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์ (กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์ 2524 49 - 50) ได้ทำการ
วัดภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ด้วยการใช้ตัววัดแบบ NaI(Tl) ของ
รังสีแกมมาจากยูไรเนียม - 152 ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ที่มุมกระเจิง 4 มุม คือ
 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ และ
ผลจากทางทฤษฎี พบว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่พลังงาน 0.344 MeV นั้นได้ผลต่ำกว่าผลทางทฤษฎี และกับ
ผลการทดลองของคนอื่น ๆ ส่วนที่พลังงาน 1.048 MeV ผลการทดลองสอดคล้องกับการคำนวณ
ของ บราวน์ ฟอร์มแฟคเตอร์ ที่รวมการกระเจิงแบบเดลบรุกด้วย



บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีดำเนินการทดลอง

เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

- 1 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา (γ -source)
- 2 เครื่องวัดซินทิลเลชัน (scintillation counter)
- 3 เป้า
- 4 โปรแกรม BAKFIT และ GAMMA

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ยูโรเพียม -152 (^{152}Eu) มีขนาดความแรง 0.677 คูรี และมีครึ่งชีวิตประมาณ 12.4 ปี ซึ่งทำจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ Australian atomic energy commission ประเทศออสเตรเลีย โดยการอาบรังสีนิวตรอนไปบนยูโรเพียมออกไซด์ ยูโรเพียม -152 นี้อยู่ในรูปผงฝุ่นบรรจุอยู่ในขวดซึ่งวางอยู่ในท่อโลหะผสมท่อนี้มีตะกั่วหนา 13 เซนติเมตร หุ้มอยู่เพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี และมีช่องเล็ก ๆ เจาะไว้ที่ด้านหนึ่งสำหรับให้รังสีออกมาเป็นลำรังสีสำหรับการทดลอง โดยขนาดลำรังสีกว้าง 1" หรือลำรังสีจะกว้างออกเป็น 0.03 เมตร ในระยะทาง 2 เมตร ทั้งหมดนี้หุ้มด้วยเหล็กกล้าขนาด 28 x 28 x 28 เซนติเมตร อีกชั้นหนึ่ง สำหรับยูโรเพียม -152 นี้จะให้รังสีแกมมาที่มีพลังงานแตกต่างกันหลายค่า ดังที่แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ความเข้มในแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม - 152

$^{63}\text{Eu}^{152}$
($T_{1/2}=12.4$ years)

รังสีแกมมา (MeV)	ความเข้ม (/100 decays)
0.24454 ± 0.00015	7.6
0.34419 ± 0.00015	28.8 *
0.41106 ± 0.00015	2.8
0.44396 ± 0.00015	3.6
0.77908 ± 0.00015	14.5
0.86753 ± 0.00015	4.4
0.96421 ± 0.00015	16.2
1.08600 ± 0.00015	11.8
1.11220 ± 0.00015	15.4
1.40811 ± 0.00015	22.9 *

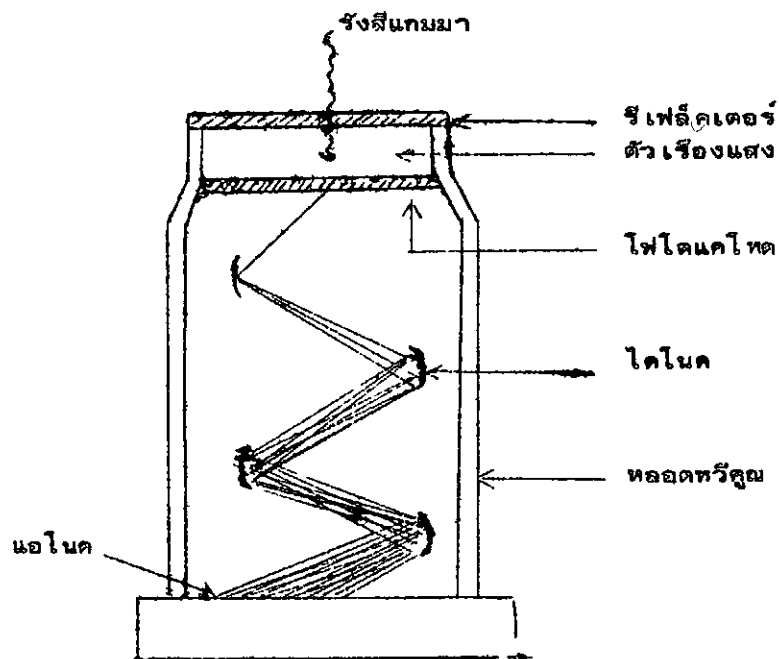
ในการทดลองนี้เราเลือกรังสีแกมมาที่มีความเข้มสูงที่สุด และรองลงมาคือ
ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV

เครื่องวัดซินทิล เลชัน

เครื่องวัดซินทิล เลชันนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หัววัดรังสี และเครื่องนับส่วนของ หัววัดรังสีมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวเรืองแสง ซึ่งสามารถปล่อยแสงออกมาเมื่อถูก รังสีแกมมาพุ่งชน และอีกส่วนหนึ่ง คือ หลอดทรีอุย ซึ่งจะทำหน้าที่รับแสงแล้วขยายปริมาณอิเล็กตรอน ที่เกิดขึ้นเพื่อให้่ายต่อการวัด สัญญาณจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อมาเข้าเครื่องนับ เครื่องนับไม่ได้ นับสัญญาณทันทีแต่จะเพิ่มขนาดและวิเคราะห์สัญญาณก่อนแล้วจึงนับ

หลักการทางาน

เมื่อรังสีตกกระทบบนตัวเรืองแสง พลังงานของรังสีทั้งหมดหรือบางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็น โฟตอน ความเข้มของโฟตอนที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรังสีที่ตกกระทบ และโฟตอนเหล่านี้ จะถูกซีฟิเล็คเตอร์สะท้อนกลับให้ลงมายบนโฟโตแคโทดของหลอดทรีอุย แล้วโฟโตแคโทดจะปล่อย อิเลคตรอนออกมาเป็นจำนวนมาก อิเลคตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปเนื่องจากศักย์ที่ใส่ ระหว่างโฟโตแคโทด และไดโนด เมื่ออิเล็กตรอนชนไดโนดจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น อีกมากมาย และในหานองเดียวกัน ที่ไดโนดอันต่อมาก็จะมีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นอีกมากมาย โดยที่ แต่ละไดโนดอันถัดมาจะมีศักย์สูงกว่าไดโนดอันก่อนเสมอ ผลสุดท้ายจะได้อิเล็กตรอนออกมา ประมาณ 10^6 ถึง 10^8 เท่า และอิเล็กตรอนนี้ก็จะรวมกันที่แอมโพล แล้วเข้าสู่วงจรสำหรับ นับสัญญาณต่อไป



ภาพประกอบ 1 แสดงลักษณะภายในของหัววัดรังสี

หลอดทวิคูณ

หลอดทวิคูณเป็นหลอดที่จะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจนสามารถบันทึกได้
ในเครื่องนับสัญญาณหลอดนี้ประกอบด้วย

1. โฟโตแคโทด ซึ่งเป็นตัวปล่อยอิเล็กตรอน

2. โดโนด เป็นขั้วไฟฟ้ามีอยู่หลายขั้วติดอยู่กับแหล่งจ่ายไฟแรงสูง
โดยที่ขั้วอยู่ใกล้กับโฟโตแคโทดมีศักย์ต่ำที่สุด ขั้วที่ห่างออกมามีศักย์สูงขึ้นเรื่อย ๆ
เมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบบจะทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น

3. แอโนด เป็นตัวเก็บรวบรวมอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเพื่อส่งต่อไปยัง
เครื่องนับ

ตัวเรียงแสง

คุณสมบัติของตัวเรียงแสง

1. มีประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงานของรังสี เป็นโฟตอนที่มี
ความยาวคลื่นของแสงสว่างสูง

2. ไปร่งแสงเพื่อโฟโตนที่เกดขึ้นสามารถเดินทางผ่านไปถึง
โฟโตแคโทดได้มาก

- 3 สามารถทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย
- 4 ดัชนีหักเหมีค่าสูง
- 5 มีอำนาจในการดูดกลืนรังสีสูง

ตัวเรืองแสงมีทั้งชนิดที่เป็นของแข็งและของเหลว แต่ชนิดที่เป็นของแข็ง
ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (NaI(Tl)) เพราะว่า

- 1 มีความหนาแน่นมาก
- 2 มีเลขอะตอมเฉลี่ยสูง
- 3 ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีเป็นโฟตอนสูง
- 4 ไปร่งแสง

เครื่องนับเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ปรีแอมพลิฟายเออร์
2. วงจรขยายหลัก
3. วงจรเลือกสัญญาณ
4. วงจรตั้งเวลา
5. วงจรนับ
6. วงจรจ่ายไฟแรงสูง

เครื่องนับที่สามารถวิเคราะห์ทั้งปริมาณ และพลังงานของรังสีแกมมาได้

เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง (multichannel analyser; MCA)
จากหมายเลขช่องของ MCAสามารถทำให้รู้ได้ว่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรงกับ
หมายเลขช่องนั้น ๆ มีค่าเท่าใด

หัววัดรังสีที่ถูกหุ้มด้วยตะกั่วหนา ๑ เซนติเมตร จะเปิดเฉพาะส่วนที่เจาะไว้ เพื่อป้องกันรังสีที่สะท้อนมาจากทิศทางอื่น ๆ ทำให้สามารถวัดรังสีแกมมาที่มาจากมุมกระเจิงที่ต้องการวัดได้ใกล้เคียงความจริงที่สุด

เป้า

มีองค์ประกอบอยู่ 2 ประการในการพิจารณาความหนาของเป้าที่เหมาะสมในการทดลองหาค่าภาคตัดขวางคือ หัววัดรังสี และการกระเจิงของรังสีแกมมาในเป้า และการดูดกลืนในเป้าของรังสีตกกระทบและรังสีกระเจิง ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 2 อย่างนี้จะทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาที่วัดได้ลดลง ความเป็นจริง สำหรับหัววัดรังสีการกระเจิงของรังสีแกมมานั้น ศึกษาค้นคว้าได้ยากมาก ดังนั้นในการศึกษาอย่างหยาบ ๆ จะถือว่าไม่มีผลต่อการวัดความเข้มของรังสีแกมมาเมื่อใช้เป้าตะกั่วซึ่งหนา ๐.๖๖ เซนติเมตร ถึง ๐.๘๗ เซนติเมตร ส่วนผลของการดูดกลืนรังสีสามารถคำนวณได้ และสามารถหาความหนาที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับอัตรา การนับรังสีแกมมาสูงสุด โดยคำนวณจากสูตร

$$I(\sigma) = \int_0^t I_0 \sigma_g(\theta) e^{-x} e^{-(t-x)/\cos \theta} dx$$

$$= I_0 \sigma_g(\theta) \left[\frac{e^{-\sigma t / \cos \theta}}{(1 - \cos \theta) \cos \theta} \right] \left[e^{\sigma(1 - \cos \theta)t / \cos \theta} - 1 \right]$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ

$\sigma_g(\theta)$ = ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์สำหรับมุมกระเจิง

σ = สัมประสิทธิ์เชิงเส้นการดูดกลืนรังสีแกมมาของ เป้า

x = ความลึกซึ่งปรากฏในการกระเจิง

ค่าสูงสุดของ $I(\theta)$ ขึ้นอยู่กับความหนา t หาได้จาก

$$\frac{\partial I(\theta)}{\partial t} = 0$$

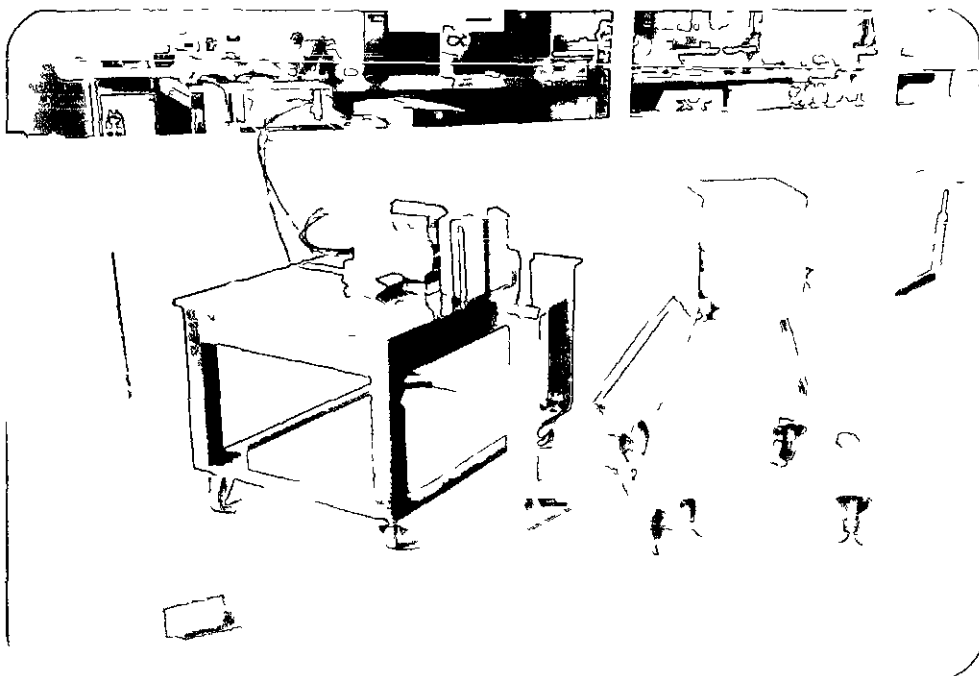
$$e^{(1 - 1/\cos \theta)t} = \cos \theta$$

สำหรับช่วงพลังงาน และมุมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ตะกั่วควรมีความหนา 0.33 เซนติเมตร ถึง 0.87 เซนติเมตร สำหรับอุณหภูมิเยือกนั้นค่าการอุกกลืนรังสี มีผลน้อยมากถ้าใช้ความหนาน้อยกว่า 1.7 เซนติเมตร

เป้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 2 ชนิด คือ

1. ตะกั่วบริสุทธิ์ ขนาด $8 \times 8 \times 0.33$ เซนติเมตร
2. อุณหภูมิเยือกบริสุทธิ์ ขนาด $10 \times 7 \times 0.7$ เซนติเมตร

เป้าหมายที่ตั้งอยู่บนแกนที่ยึดติดกับพื้นห่างจากช่องเปิดของกล่องแหล่งกำเนิดรังสีประมาณ 6 เซนติเมตร โดยระยะห่างของเป้าตั้งฉากกับช่องเปิดของกล่องแหล่งกำเนิดรังสีประมาณตลอดเวลา



ภาพประกอบ 2 แสดงตำแหน่งของ กล่องแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา เป้า และตัววัดรังสี

วิธีดำเนินการทดลอง

๑ จัดเครื่องมือต่าง ๆ ตามภาพประกอบ ๒ โดยทำให้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาและที่รองรับ เป้าตั้งอยู่บนแกนที่ยึดติดกับพื้น เพื่อให้ระยะทางระหว่าง เป้ากับช่องเปิดของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา เท่ากันตลอดการทดลอง จากแกนที่รองรับเป้าหมายยึดติดกับโต๊ะหมุน ซึ่งเป็นที่วางหัววัดรังสี โต๊ะหมุนนี้จะ เคลื่อนที่อยู่บนพื้น เป็นวงกลมมีแกนที่รองรับ เป้า เป็นจุดศูนย์กลาง

๒ การวัดความเข้มของรังสีแกมมาในการทดลองจะต้องให้รังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาตกกระทบบนตรงกลางของหัววัดรังสีพอดีจึงจะได้ค่าความ เข้มที่ใกล้เคียงความจริง ณ มุมที่ต้องการวัดมากที่สุด ซึ่งทำได้เป็นชั้น ๆ ดังนี้

๒.๑ วางหัววัดรังสีบนโต๊ะหมุน โดยพยายามจัดให้หัววัดรังสีอยู่ในแนวระดับแนวเดียวกับช่องเปิดของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา เท่าที่จะทำได้ แล้ววัดจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบบนหัววัดรังสีในช่วง เวลาที่กำหนดว่า ที่ตำแหน่งนั้นมีจำนวนรังสีแกมมาที่มากกระทบบเท่าใดต่อไปจึง เคลื่อนที่หัววัดรังสี โดยหมุนโต๊ะหมุนไปทางซ้ายหรือทางขวาทีละน้อย จนกระทั่งได้ตำแหน่งที่รังสีแกมมาตกกระทบบนหัววัดรังสีมีค่ามากที่สุด แล้วหา เครื่องหมายกำหนดตำแหน่งของโต๊ะหมุนไว้

๒.๒ ปรับระดับหัววัดรังสีขึ้นลงในแนวตั้งทีละน้อย เพื่อหาตำแหน่งที่รังสีแกมมาตกกระทบบนหัววัดรังสีมีค่าสูงสุด ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งของมุมกระเจิง ๐

๓ จากตำแหน่งของมุมกระเจิง 0° ใช้ที่รองรับ เป้าเป็นจุดศูนย์กลาง หารัศมีมาตามส่วนของมุม เป็นองศาเพิ่มทีละ 5° จนถึงมุม 45° เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของมุมกระเจิงค่าต่าง ๆ

๔ สร้างเส้นแคลิเบรชัน (calibration curve) ซึ่งเป็นกราฟเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมากับหมายเลขช่องของ เครื่อง MCA ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่ารังสีแกมมาที่วัดได้จากเครื่องวัด และที่ปรากฏบนจอภาพนั้นตรงกันหรือไม่ เพื่อความถูกต้องของการทดลอง เส้นแคลิเบรชันนี้สร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดมาตรฐานหลาย ๆ ธาตุที่ทราบพลังงานอย่างแน่นอน แล้วนำมาวัดหาความ เข้มพิจารณาจากพลังงานนั้น ๆ ตรงกับหมายเลขช่องใด แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟ โดยให้พลังงาน เป็นแกนนอน และหมายเลขช่อง เป็นแกนตั้ง เส้นแคลิเบรชัน

ที่สร้างขึ้นจะทำให้ทราบได้ว่ารังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ตรงกับหมายเลขของใด ในขณะที่ทดลอง ถ่ายทอดกราฟเลื่อนไปจากตำแหน่งดังกล่าวแสดงว่าการทำงานของเครื่องวัดผิดปกติ ต้องตรวจสอบเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัด แล้วจึงเริ่มทำการทดลองใหม่

5 วัดความเข้มของรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 0 โดยการวัดโดยตรงจากยูโรเพียม -152 ข้อมูลที่ได้เรียกว่า ภูมิหลังที่มุมกระเจิง 0°

6 เลื่อนตำแหน่งโต๊ะหมุนมาที่มุม 15°

7 วัดความเข้มของรังสีแกมมาโดยตรงจากยูโรเพียม -152 ข้อมูลที่ได้นี้เรียกว่า ภูมิหลัง

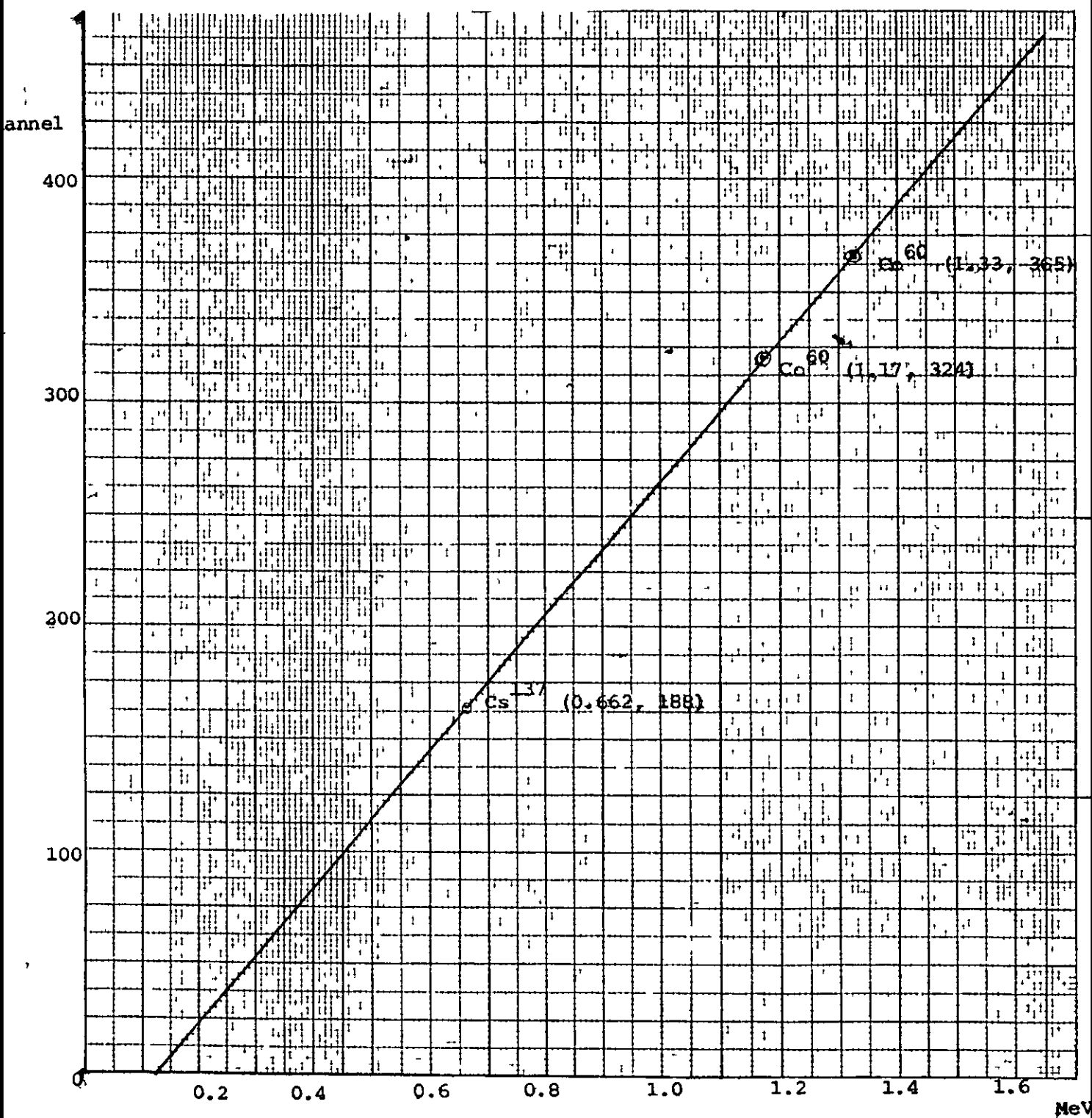
8. นำเป้าตะกั่วไปวางบนที่รองรับเป้า ให้ระนาบของ เป้าขนานกับช่อง เปิดของกล่อง แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา แล้ววัดความเข้มของรังสีแกมมา

9. เปลี่ยนเป้าเป็นอลูมิเนียม แล้ววัดความเข้มของรังสีแกมมา

10 การวัดความเข้มของรังสีแกมมาตามในข้อ 5 7 8 และ 9 ยอมให้มี dead time ไม่เกิน 10 - 15% มิฉะนั้นจะต้องปรับระยะห่างระหว่าง เป้ากับหัววัดใหม่จนกว่า dead time จะอยู่ในช่วงดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อป้องกัน เครื่องมือ เสียหาย

11 เลื่อนตำแหน่งโต๊ะหมุนมาที่มุม 20°, 25°, 35° และ 45° แล้วทำการทดลองตามวิธีการในข้อ 7 8 และ 9 ตามลำดับในแต่ละมุม

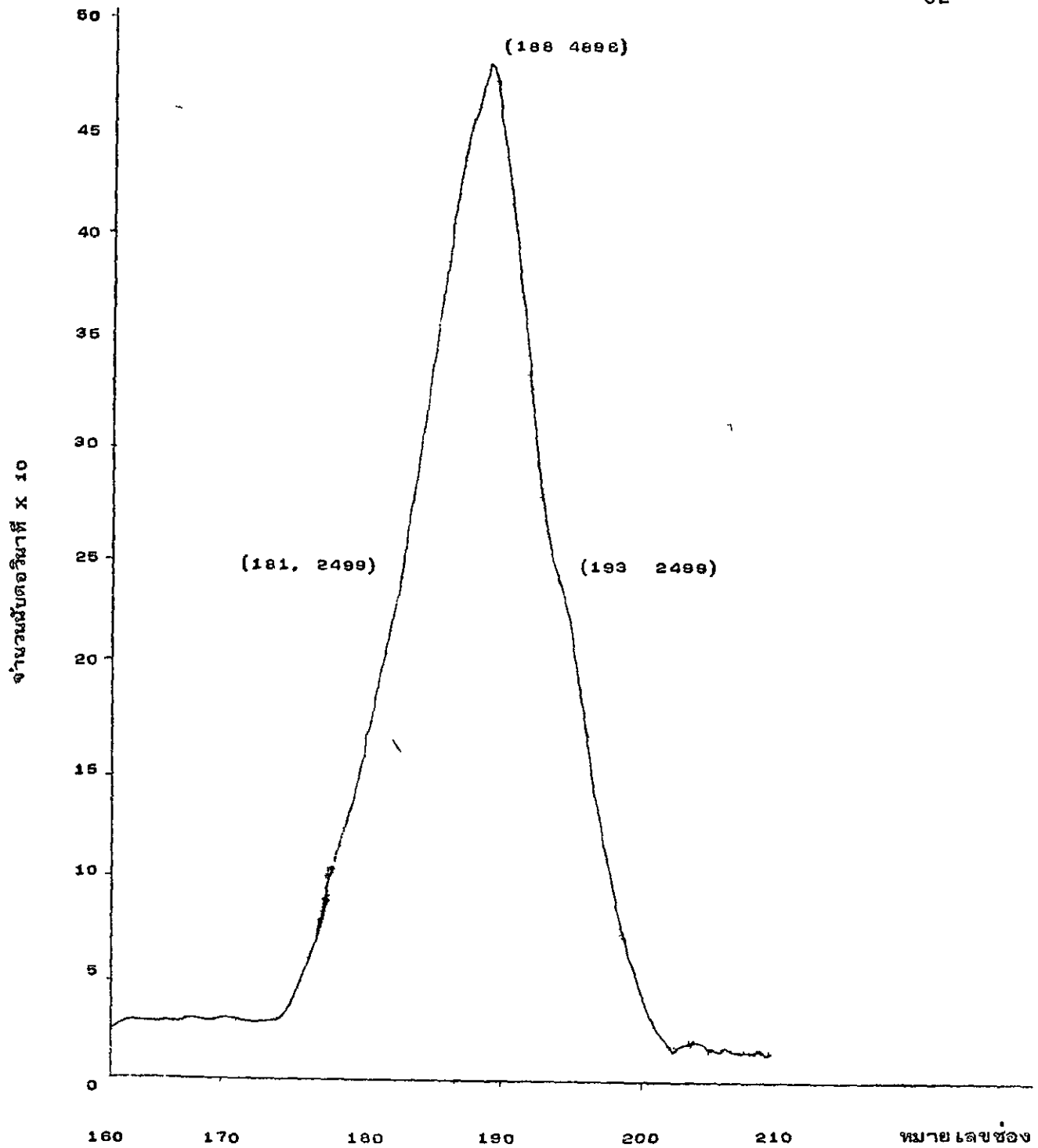
12. ความเข้มของรังสีแกมมาที่วัดได้จาก เครื่อง MCA ในแต่ละมุมที่ทดลองจะถูก เปลี่ยนเป็นจำนวนนับต่อวินาที แล้วถูกพิมพ์เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขทาง เครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์



Cs^{137} พลังงาน 0.662 MeV

Co^{60} พลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV

ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงเส้นแคลิเบรชัน



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงการหาค่าเรโซแนนซ์

เรโซลูชัน

ค่าเรโซลูชัน (resolution) ของเครื่องวัดรังสีแกมมาเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการแยกยอดกราฟ 2 ยอด ซึ่งมีพลังงานใกล้เคียงกันมากออกจากกันได้เด่นชัดแค่ไหน คำนวณได้ดังสมการ

$$\text{เรโซลูชัน} = \frac{\Delta E}{E} \times 100\%$$

เมื่อ ΔE = ความกว้างของยอดกราฟที่ตำแหน่งความสูงครึ่งหนึ่งของยอดกราฟ

E = พลังงานที่ตำแหน่งสูงสุดของยอดกราฟ

= หมายเลขช่องที่ตำแหน่งสูงสุดของยอดกราฟ

ในการทดลองนี้ เครื่องวัดมีเรโซลูชัน 8.38% โดยใช้รังสีแกมมาจากซีเซียม (Cs^{137}) ซึ่งมีพลังงาน 0.662 MeV โดยการวัดจำนวนนับต่อวินาทีของซีเซียมแล้วมากำหนดจุดลงบนกราฟได้ดังภาพประกอบ 4 จากภาพประกอบ 3 จะได้ $\Delta E = 193 - 181 = 12$ ช่อง และ $E = 188$ ช่อง ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{เรโซลูชัน} &= \frac{12}{188} \times 100\% \\ &= 8.38\% \end{aligned}$$

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 5, 7, 8, 9 และ 11 ของวิธีดำเนินการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย

1.1 จำนวนนับต่อวินาทีของภูมิหลังที่มุมกระเจิง 0° 1 ชุด

1.2 จำนวนนับต่อวินาทีของภูมิหลังที่มุมกระเจิง 15° , 20° , 25° , 35° และ 45°

รวม 5 ชุด

1.3 จำนวนนับต่อวินาทีของเป้าตะกั่วที่มุมกระเจิง 15° , 20° , 25° , 35° และ

45° รวม 5 ชุด

1.4 จำนวนนับต่อวินาทีของเป้าธูมิเนียมที่มุมกระเจิง 15° , 20° , 25° , 35° และ

45° รวม 5 ชุด

เป็นข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 ชุด คือ BAKFIT และ GAMMA โดยข้อมูลออก (output) ของโปรแกรม GAMMA ที่มุมกระเจิงหนึ่ง ๆ จะให้ค่าไดเรกต์บีม (direct beam) ซึ่งหมายถึงความเข้มสูงที่สุดที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ความยืดหยุ่น (elastic) คอมพ์ตัน 1 (compton 1) และคอมพ์ตัน 2 (compton 2) ออกมาอย่างละ 4 ค่า โดยเป็นของเป้าตะกั่ว ภูมิภาคที่พลังงาน 0.344 MeV และของเป้าตะกั่ว ภูมิภาคที่พลังงาน 1.408 MeV

2 ที่พลังงานระดับหนึ่งและมุมกระเจิงมุมหนึ่งหา $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ได้ตามขั้นตอนดังนี้

2.1 จากข้อมูลออกของเป้าตะกั่วนำไปหาพื้นที่ได้ยอดกราฟของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น เมื่อมีภูมิภาค (Elast._{Pb}) และพื้นที่ได้ยอดกราฟของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน เมื่อมีภูมิภาค (Comp._{Pb}) โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Elast.}_{Pb} = \text{ไดเรกต์บีม} \times \text{ความยืดหยุ่น}$$

$$\text{Comp.}_{Pb} = \text{คอมพ์ตัน 1} \times \text{คอมพ์ตัน 2}$$

2.2 จากข้อมูลออกของภูมิภาคนำไปหาพื้นที่ได้ยอดกราฟของภูมิภาคเมื่อมีการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elast._{Bg}) และพื้นที่ได้ยอดกราฟของภูมิภาคเมื่อมีการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Comp._{Bg}) โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Elast.}_{Bg} = \text{ไดเรกต์บีม} \times \text{ความยืดหยุ่น}$$

$$\text{Comp.}_{Bg} = \text{คอมพ์ตัน 1} \times \text{คอมพ์ตัน 2}$$

2.3 คำนวณหาพื้นที่ได้ยอดกราฟของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elast.) และพื้นที่ได้ยอดกราฟของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Comp.) โดยนำค่า Elast._{Pb}, Comp._{Pb}, Elast._{Bg} และ Comp._{Bg} จากข้อ 2.2 มาคำนวณจากสูตร

$$\text{Elast.} = \text{Elast.}_{Pb} - \text{Elast.}_{Bg}$$

$$\text{Comp.} = \text{Comp.}_{Pb} - \text{Comp.}_{Bg}$$

2.4 คำนวณหา $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากสูตร

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{\text{Elast.}}{\text{Comp.}} \right) \times \text{Comp.} \cdot \emptyset$$

เมื่อ Comp. σ คือ ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน คำนวณค่า

ได้จากสมการ

$$\text{Comp. } \sigma = S(x, z) \times \left(\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} \right)_{\text{Kn}}$$

โดยที่ $S(x, z)$ คือ incoherent scattering function ค่า $S(x, z)$ นำมาจาก ตาราง atomic form factor and incoherent scattering function (Hubbell and others. 1975 : 511)

z = เลขอะตอม

$$x = \frac{E(\text{keV}) \sin \theta/2}{12.4}$$

$E(\text{keV})$ = พลังงานรังสีแกมมามีหน่วยเป็น keV

θ = มุมกระเจิง

และ $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}}$ คือ differential Klein-Nishina (free electron Compton) collision cross section per electron

ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}} = \frac{r_0^2}{2} [1 + k(1 - \cos \theta)]^{-2} \times \left[1 + \cos^2 \theta + \frac{k^2(1 - \cos \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right]$$

$$r_0^2 = 7.940775 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$$

θ = มุมกระเจิง

k = พลังงานของรังสีแกมมาต่อมวลหนึ่งของอิเล็กตรอน

$$= \frac{E(\text{eV})}{511003.4}$$

๑ เปรียบเทียบ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่ได้จากการทดลอง (จากข้อ ๒.๔) กับผลที่คำนวณได้จากทาง

ทฤษฎีฟอรัมแฟคเตอร์ที่มุมกระเจิงและพลังงาน เดียวกันว่า เท่ากับหรือแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

4. เปรียบเทียบ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่ได้จากการทดลองกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ โดยแยกพิจารณา

เป็น 2 กรณี คือ

4.1 ที่มุมกระเจิงและพลังงานเดียวกันจะพิจารณาว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ เท่ากันหรือแตกต่างกัน

อย่างน้อยเพียงใด

4.2 ที่มุมกระเจิงและพลังงานใกล้เคียงกันจะพิจารณาว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ มีแนวโน้มที่จะ

สอดคล้องกันหรือไม่ โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ กับมุมกระเจิงต่าง ๆ ที่พลังงานหนึ่ง ๆ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

การทดลองวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ที่มุมกระเจิง 15°, 20°, 25°, 35° และ 45° คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\text{Elast.}}{\text{Comp.}} \times S(x, z) \times \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}}$$

Elast. หมายถึง พื้นที่ได้ออกราฟของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น

Comp. หมายถึง พื้นที่ได้ออกราฟของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

$S(x, z) \times \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}}$ หมายถึง ภาควัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

ผลการคำนวณค่าต่าง ๆ แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงค่า $S(x, z)$, $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}}$ และ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง (degree)	$S(x, z)$ ($\times 10$)	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right)_{\text{Kn}}$ ($\times 10^{-26}$)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (mb sr ⁻¹)
0.344	15	6.93	17.33843	3.27×10^3
	20	7.34	6.91016	1.76×10^3
	25	7.59	6.41214	1.96×10^3
	35	7.88	5.31429	4.89×10^2
	45	8.02	4.24535	1.44×10^2
1.408	15	8.10	6.44065	1.95×10^3
	20	8.16	5.56664	6.28×10^2
	25	8.16	4.7013	2.78×10^3
	35	8.18	3.24849	5.89×10^3
	45	8.19	2.26212	4.63×10

สำหรับ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณโดยใช้ทฤษฎี 4 แบบ คือ ของ ฮับเบิร์ต แทนด้วย Hab บราร์นฟอร์ธ แทนด้วย BR จอห์นสัน และ เช็ง แทนด้วย JC และ เฟียวฟอร์ธแทนด้วย FF ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกับ ซึ่งใช้ในการทดลองนี้ได้มาจาก ริมด จิตวัฒนากร และคนอื่น ๆ (Wimon Chitwattanagorn and others. 1980 : 152 - 153) ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 แสดง $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณทางทฤษฎี 4 แบบ

พลังงาน (MeV)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (mb ⁻¹)	มุมกระเจิง (degree)				
		15	20	25	30	40
0.344	Hab	4.14×10^3	1.85×10^3	1.09×10^3	4.50×10^2	1.63×10^2
	JC	-	-	-	4.35×10^2	1.91×10^2
	BR	3.80×10^3	2.05×10^3	1.33×10^3	5.70×10^2	1.67×10^2
	FF	3.19×10^3	1.61×10^3	1.37×10^3	4.60×10^2	1.51×10^2
1.408	Hab	1.23×10^2	-	-	-	-
	BR	6.62×10	3.02×10	1.57×10	4.10	1.01×10
	FF	6.87×10	3.77×10	2.01×10	5.15	1.51×10
	BR (+D)	6.67×10	2.67×10	1.36×10	3.37	7.55×10^{-1}
	FF (+D)	6.10×10	3.29×10	1.72×10	4.18	1.98×10

BR (+D) หมายถึง บราร์นฟอร์ธแทนด้วยที่รวมเดลบรูค

FF (+D) หมายถึง เฟียวฟอร์ธแทนด้วยที่รวมเดลบรูค

การเปรียบเทียบ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองกับผลคำนวณทางทฤษฎีซึ่งได้แสดงในตาราง 2 และ ตาราง 3 พบว่าที่พลังงาน 0.344 MeV มุมกระเจิงทั้ง 5 มุม คือ 15° , 20° , 25° , 35° และ 45° สอดคล้องกับผลคำนวณทางทฤษฎีทั้ง 4 แบบ คือ ในแต่ละมุมกระเจิงจะมีระดับขนาด เท่ากัน แต่ที่มุมกระเจิง 25° ผลจากการทดลองนี้จะสูงกว่าผลคำนวณทางทฤษฎี และยังมีขนาด มากกว่าที่มุมกระเจิงอื่นด้วย ได้นำผลการทดลองนี้มาเปรียบเทียบ เปอร์เซนต์ความแตกต่าง ๗ กับผลคำนวณทางทฤษฎีทั้ง 4 แบบ ดังที่แสดงไว้ในตาราง 4

ตาราง 4 เปอร์เซนต์ของความแตกต่าง ๗ ระหว่างผลการทดลองกับผลคำนวณทางทฤษฎี ที่พลังงาน 0.344 MeV

มุมกระเจิง (degree)	ค่าเปอร์เซนต์ของความแตกต่าง			
	Hub	JC	BR	FF
15	82.9	-	13.9	2.5
20	5.4	-	14.8	3.3
25	79.3	-	47.4	47.4
35	8.7	12.4	14.2	6.3
45	11.7	24.8	13.8	4.6

สำหรับพลังงาน 1.408 MeV ปรากฏว่าผลการทดลองกับผลคำนวณทางทฤษฎีไม่สอดคล้องกัน เป็นอย่างมาก โดย $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองมากกว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณทางทฤษฎี ที่มุมกระเจิง 15° และ 45° $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองมากกว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณทางทฤษฎีประมาณ 10 เท่า และที่มุมกระเจิง 20° , 25° และ 35° $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองมากกว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่คำนวณทางทฤษฎีมาก ๗

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ

ตาราง 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกัน คือ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ ปรีชา เทียบสมประสงค์ (Preecha Teansompramong, 1970 : 65) และของ กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์ (กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์ 2524 42) ที่พลังงาน 0.344 MeV ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ ปรีชา เทียบสมประสงค์ เว้นแต่ที่มุมกระเจิง $25^\circ \frac{d\sigma}{d\Omega}$ ผลการทดลองมีค่ามากกว่าประมาณ 01.0% ส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV ผลการทดลองไม่สอดคล้องกัน

ตาราง 5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกัน

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง (degree)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (mbsr ⁻¹)		
		การทดลอง	ปรีชา เทียบสมประสงค์	กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์
0.344	15	3.27×10^3	2.95×10^3	5.21×10^2
	20	1.75×10^3	1.32×10^3	-
	25	1.98×10^3	7.45×10^2	-
	35	4.88×10^2	2.95×10^2	-
	45	1.44×10^2	1.35×10^2	1.91×10
1.408	15	1.95×10^3	4.74×10	6.72×10
	20	6.28×10^2	2.06×10	-
	25	2.78×10^3	9.44×10	-
	35	5.89×10^3	2.28×10	-
	45	4.63×10	4.50×10^{-1}	7.22×10^{-1}

ตาราง 6 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงใกล้เคียงกัน

พลังงาน (MeV)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (mbsr ⁻¹)	มุมกระเจิง (degree)										
		14	15	20	22	25	26	30	34	35	45	60
0 344	EXP	-	3 27x10 ³	1 75x10 ³	-	1 98x10 ³	-	-	-	4 88x10 ²	1 44x10 ²	-
0 279	S-S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 18x10 ²	1 18x10 ²
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 80x10 ²	-
0 468	B	2 48x10 ³			7 50x10 ²	-	5 00x10 ²	-	2 40x10 ²	-	-	-
1 408	EXP	-	1 95x10 ³	5 28x10 ²	-	2 78x10 ³	-	-	-	5 88x10 ³	4 89x10 ³	-
1 33	B-M	-	1 33x10 ²	-	-	-	-	1 0 x10	-	-	1 81	4 7 x10 ⁻¹
	H	-	3 21x10	-	-	-	-	7 17	-	-	7 9 x10 ⁻¹	1 90x10 ⁻¹

EXP หมายถึง การทดลอง

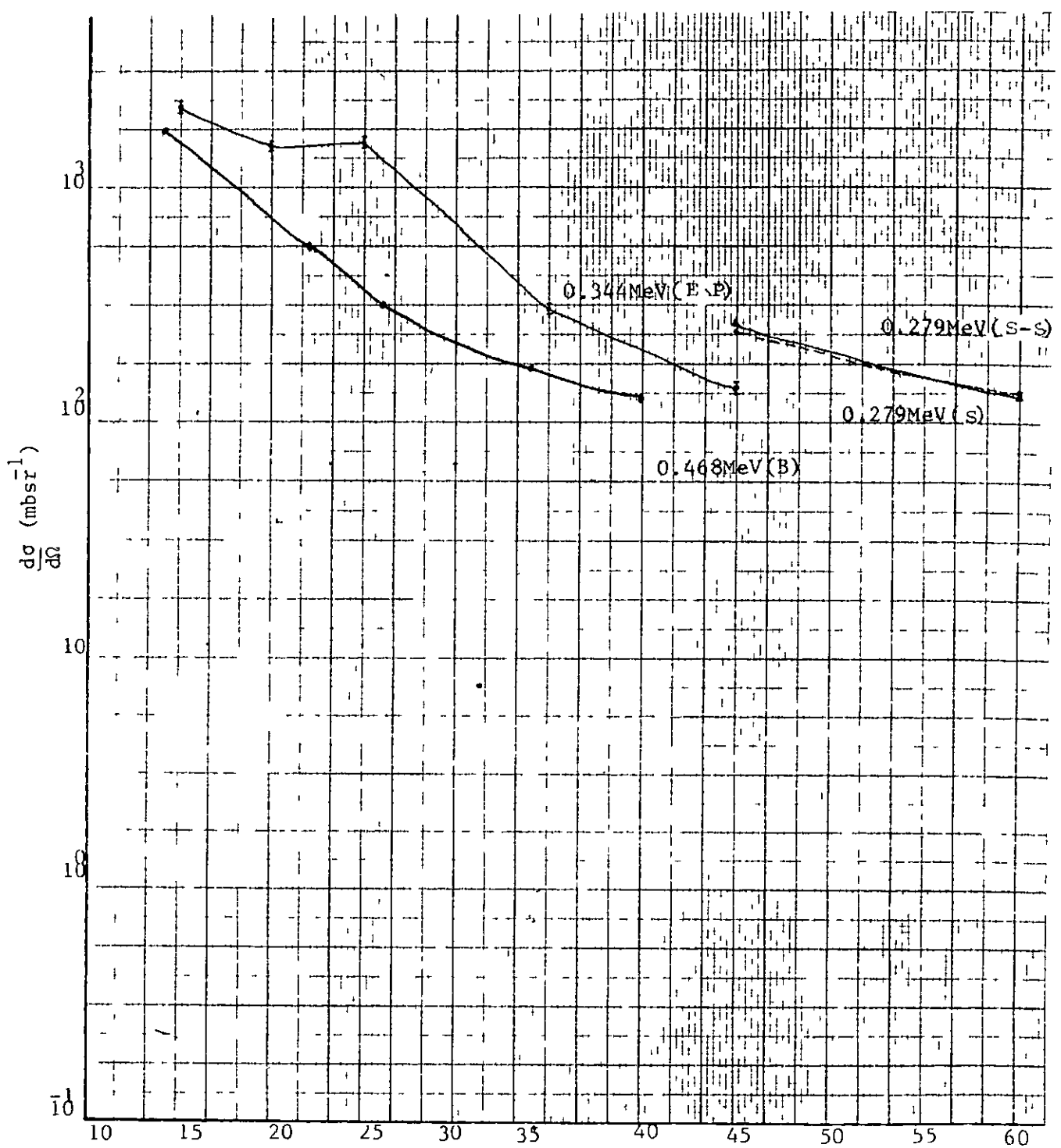
S-S หมายถึง สเปกตรัม และ ซูแมเคอร์ (1974)

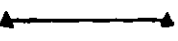
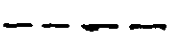
S หมายถึง สเปกตรัม และ คนอื่น ๆ (1973)

B หมายถึง บาร์รอส และ คนอื่น ๆ (1981)

B-M หมายถึง เบิร์นสไตน์ และ มัมม (1958)

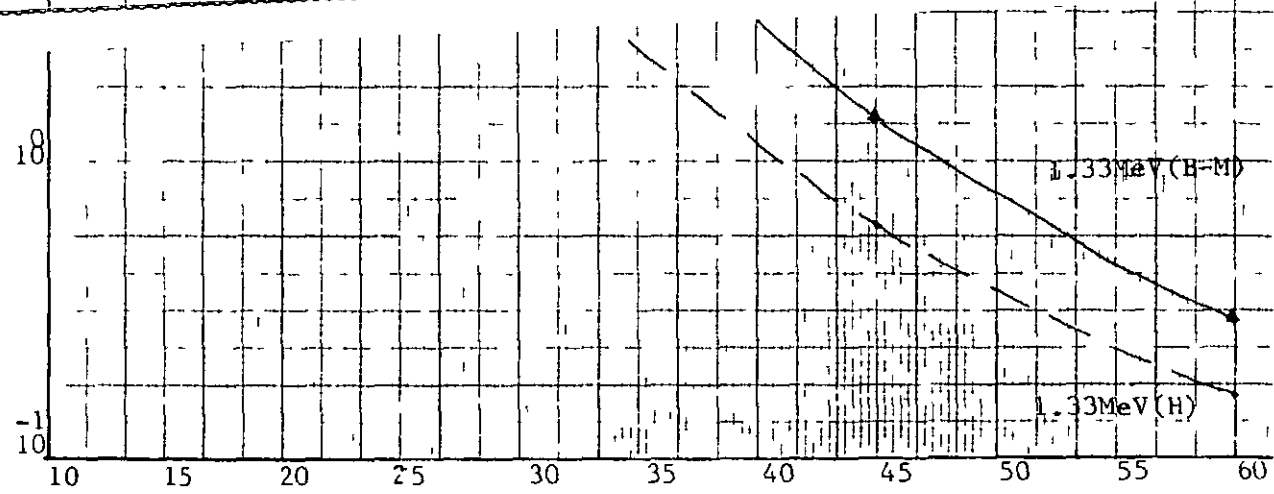
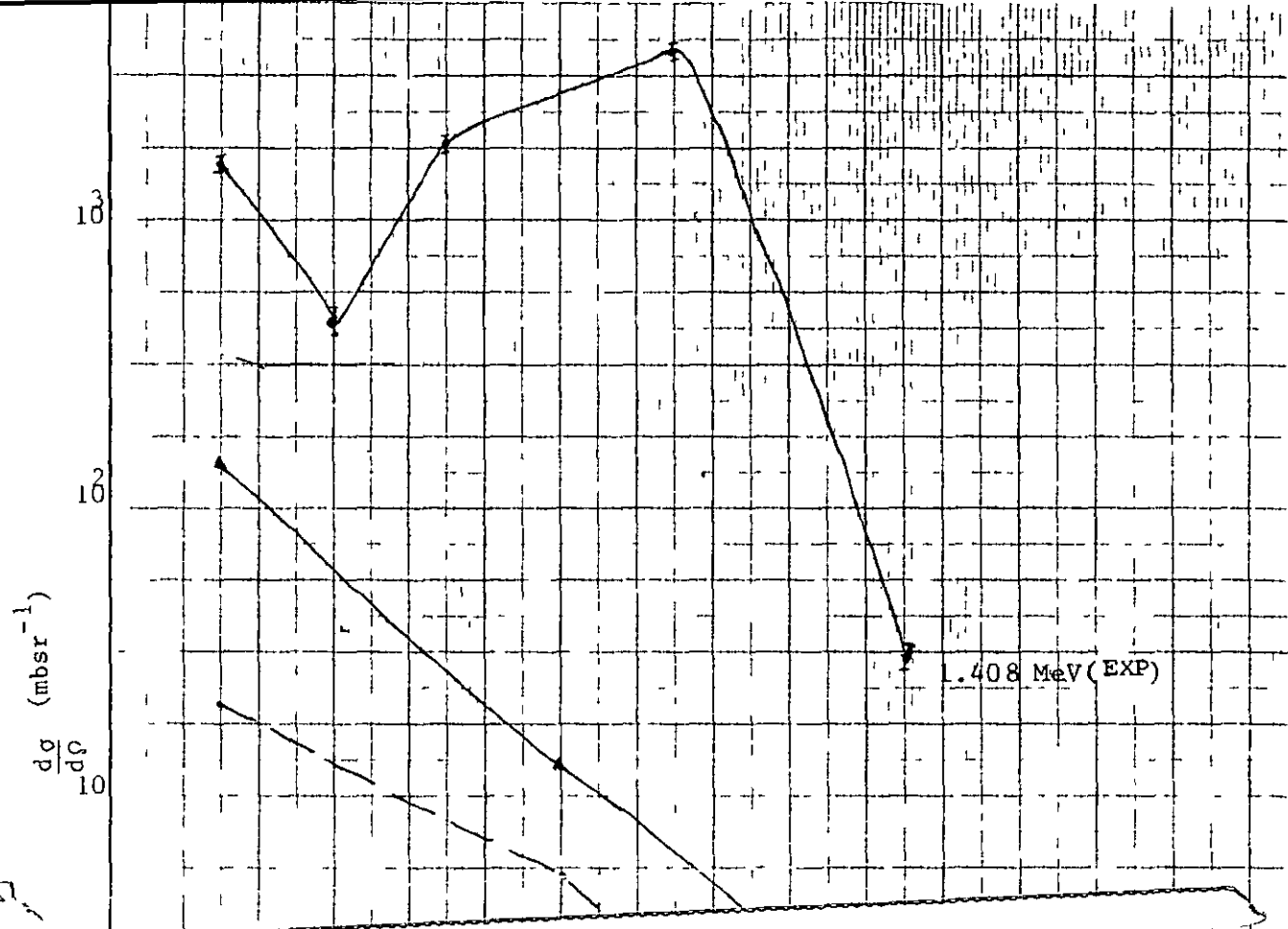
H หมายถึง ฮาร์ตีย์ และ คนอื่น ๆ (1971)



-  EXP
 S - S (1974)
 S (1973)
 B (1981)

ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ

พลังงาน 0.344 MeV



- EXP
- B - M (1958)
- H (1971)

ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง กับผลการทดลองอื่น ๆ

ที่พลังงาน 1 408 MeV

ตาราง ๘ ภาพประกอบ ๘ และภาพประกอบ ๙ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงใกล้เคียงกัน โดยที่พลังงาน ๐.๓๔๔ MeV เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ บาร์รอส และคนอื่น ๆ (Barros and others. 1981 : 1766) ที่พลังงาน ๐.๔๘๘ MeV เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร ส่วนที่พลังงาน ๑.๔๐๘ MeV ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ เบิร์นสไตน์ และ มานน์ (Bernstein and Mann. 1958 : 805) และของ ฮาร์ดี้ และคนอื่น ๆ (Hardie and others. 1971 : 1289) ที่พลังงาน ๑.๓๓ MeV เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟพบว่าผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองอื่น ๆ

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอนแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายในการค้นคว้า

- 1 ศึกษาการวัดภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV สำหรับมุมกระเจิง $15^\circ - 45^\circ$ โดยใช้ตะกั่ว เป็น เป้า
- 2 เปรียบเทียบผลการทดลองภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ได้ยอดกราฟด้วยวิธีคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมที่ดัดแปลงมาจาก มหาวิทยาลัยเจมส์คุก ออสเตรเลีย กับผลการทดลองอื่น ๆ และเปรียบเทียบผลการทดลองนี้ กับผลการคำนวณทางทฤษฎีฟอร์มแฟคเตอร์
- 3 ศึกษาขบวนการทดลองหาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่มีพลังงานประมาณ 1 MeV โดยใช้เครื่องวัดซินทิลเลชัน ซึ่งใช้ผลึกโซเดียมไอโอไดค์ (NaI (Tl))

วิธีดำเนินการวิจัย

ขบวนการหาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV โดยใช้ตะกั่ว เป็น เป้านี้ ทดลองวัดที่มุมกระเจิง 5 มุม คือ $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ และ 45° โดยแต่ละมุมจะต้องวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาสามชนิด คือ 1 โดยตรงจาก ^{152}Eu 2 จากเป้าตะกั่ว 3 จากเป้าอลูมิเนียม โดยใช้เครื่องวัดซินทิลเลชัน ขนาด $1'' \times 1''$ เมื่อรังสีแกมมากระเจิงจากเป้าเข้าสู่เครื่องวัดจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเข้าเครื่อง MCA และถูกเปลี่ยนเป็นจำนวนนับต่อวินาที แล้วถูกพิมพ์เป็นตัวเลขออกมาทางเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ นำข้อมูลที่ได้ในแต่ละมุมกระเจิงไปคำนวณหาพื้นที่ได้ยอดกราฟที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV โดยใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป 2 ชุด คือ BAKFIT และ GAMMA สุดท้ายนำข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแต่ละมุมกระเจิงไปคำนวณหาภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น

สรุปผลการค้นคว้า

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลที่คำนวณทางทฤษฎี ตลอดจนผลการทดลองอื่น ๆ พบว่า ที่พลังงาน 0.344 MeV มุมกระเจิง 15° , 20° , 35° และ 45° นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีเฟียวฟอร์สมเฟคเตอร์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 2.5 - 4.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่มุม 25° มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมาก ประมาณ 47.4 เปอร์เซ็นต์

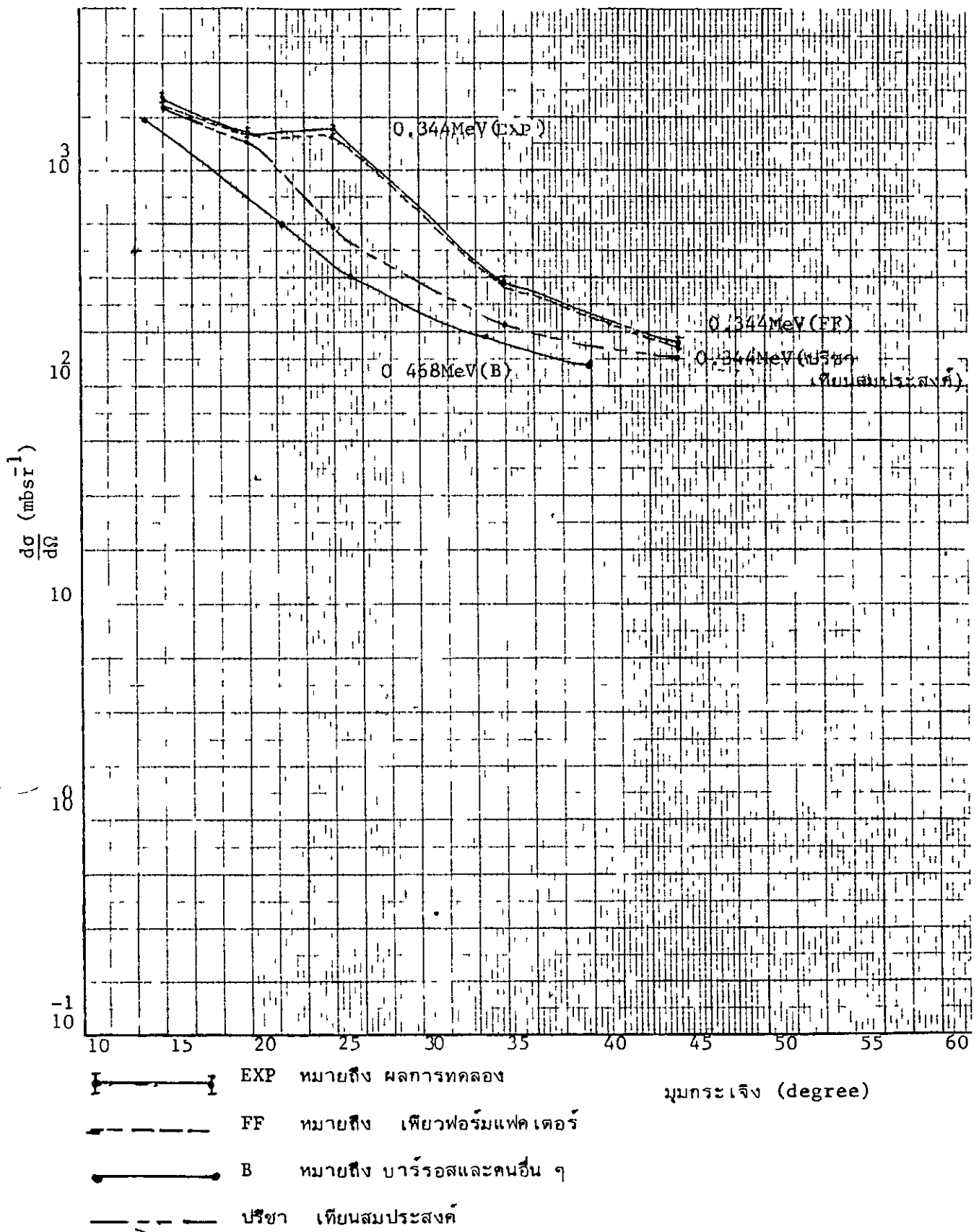
เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ ปรีชา เทียนสมประสงค์ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 9.7 ถึง 81.8 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มุมกระเจิง 15° มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างน้อยที่สุด ส่วนที่มุมกระเจิง 25° มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างมากที่สุด

สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ บาร์รอส และคนอื่น ๆ ที่พลังงาน 0.468 MeV เมื่อพิจารณาจากกราฟในภาพประกอบ 8 พบว่า มีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยผลการทดลองนี้สูงกว่าผลการทดลองของ บาร์รอส เล็กน้อย

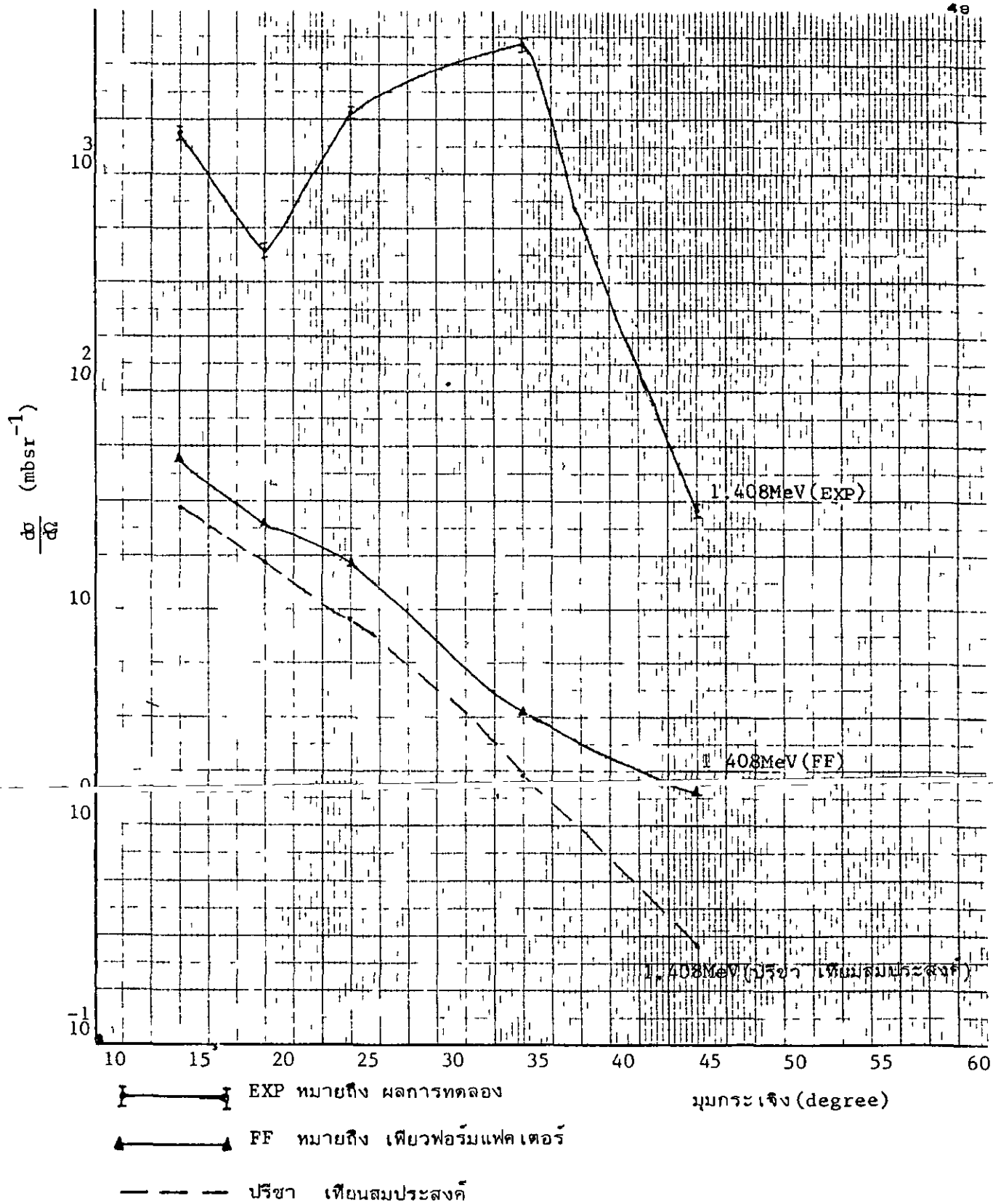
ส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV นั้น ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลที่คำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ โดยผลการทดลองที่ได้สูงกว่าผลการทดลองอื่น ๆ และผลคำนวณทางทฤษฎีมาก

ตาราง 7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่คำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง (degree)	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (mbsr ⁻¹)		
		การทดลอง	เดี่ยวฟอร์ม แฟคเตอร์	ปริชา เทียบลมประสงค์
0.344	15	$3.27 \times 10^3 \pm 0.33 \times 10^3$	3.19×10^3	2.95×10^3
	20	$1.75 \times 10^3 \pm 0.19 \times 10^3$	1.91×10^3	1.32×10^3
	25	$1.98 \times 10^3 \pm 0.98 \times 10^3$	1.33×10^3	7.45×10^2
	35	$4.89 \times 10^2 \pm 0.49 \times 10^2$	4.60×10^2	2.95×10^2
	45	$1.44 \times 10^2 \pm 0.14 \times 10^2$	1.51×10^2	1.35×10^2
1.408	15	$1.95 \times 10^2 \pm 0.19 \times 10^2$	6.87×10	4.74×10
	20	$6.28 \times 10^3 \pm 0.63 \times 10^3$	3.77×10	2.09×10
	25	$2.78 \times 10^2 \pm 0.28 \times 10^2$	2.01×10	9.44
	35	$8.83 \times 10^3 \pm 0.58 \times 10^3$	5.15	2.28
	45	$4.63 \times 10 + 0.46 \times 10$	1.51	4.50×10^{-1}



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงเปรียบเทียบผลการทดลองผลที่คำนวณทางทฤษฎี และ
ผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงาน 0.344 MeV



ภาพประกอบ ๘ กราฟแสดงเปรียบเทียบผลการทดลองผลที่คำนวณทางทฤษฎี และ
ผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงาน 1.408 MeV

อภิปรายผล

จากการทดลองวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV โดยใช้ ตะกั่ว เป็นเป้า ตาราง 7 ภาพประกอบ 7 และภาพประกอบ 8 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลที่คำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลองอื่น ๆ จากตาราง 7 ภาพประกอบ 7 และภาพประกอบ 8 แสดงให้เห็นว่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่พลังงาน 0.344 MeV สอดคล้องกับการคำนวณโดยใช้ เทียบทอรัมแพคเตอร์ และยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ ปรีชา เทียนสมประสงค์ และของ บารัรอส และ คนอื่น ๆ ส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่ได้จากการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับผลที่คำนวณจากทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1 จากลักษณะของพลังงานของรังสีแกมมา จาก Eu^{152} ซึ่งมีหลายยอดพลังงาน โดยยอดพลังงาน 1.112 MeV อยู่ใกล้กับยอดพลังงาน 1.408 MeV ทำให้ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพ์ตันของพลังงาน 1.112 MeV มารวมกับ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่พลังงาน 1.408 MeV ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าสูงขึ้น

2 ประสิทธิภาพของเครื่องวัดซินทิล เลชัน ซึ่งใช้ตัวเรืองแสง เป็นผลึกโซเดียม ไอโอไดด์ที่ใช้ในการทดลองนี้อาจไม่ดีพอ ทำให้การวัดความหนาแน่นต่อวินาทีที่พลังงานต่าง ๆ ผิดพลาดไป โดยเครื่องวัดอาจจะไม่สามารถแยกจำนวนนับต่อวินาทีที่พลังงานใกล้เคียงกัน ออกจากกันได้ดีพอ

3 จำนวนนับต่อวินาทีที่ได้ในการทดลองนี้อาจจะน้อยเกินไป จึงทำให้ยอดกราฟที่ได้ไม่เด่นชัดพอ จึงมีผลทำให้การคำนวณผิดพลาดไปมาก

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1 การใช้เครื่องวัดซินทิล เลชัน ซึ่งใช้ตัวเรืองแสง เป็น เจอร์เมเนียมลิเทียม (Ge(Li)) ในการทดลองวัด $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของรังสีแกมมา จะทำให้ได้ข้อมูลที่ได้รับความนิยมผิดพลาด เนื่องจากเครื่องมือ น้อยที่สุด และเก็บข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น

2. ภาควิชาฟิสิกส์ควรมีไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะทำให้มีเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล และได้ข้อมูลที่จะนำมาใช้คำนวณหา $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่สมบูรณ์มากขึ้น

3 แหล่งกำเนิดพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้ควรจะให้พลังงานรังสีแกมมาหนึ่งคาหรือสองค่า โดยถ้าเป็นสองคา ยอดพลังงานทั้งสองควรห่างกันพอสมควร เพื่อจะไม่ให้มีปัญหาการรบกวนในการวัดจำนวนนับต่อวินาทีจากยอดพลังงานข้างเคียง จะทำให้ข้อมูลที่ได้ถูกยิ่งขึ้น

גדחקנרמזדט

บรรณานุกรม

กันติมา รัชฎาวรรณพงษ์ ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ

1.408 MeV ของรังสีแกมมาจากยูเรเนียม-152 โดยตะกั่ว ปริมาณานิพนธ์ กศ.ม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2624 57 หน้า ๕๑ หน้า

Barros, S. and others. "Rayleigh Scattering of 468 keV Photons by different Atoms," Physical Review. c 24 : 1977, October, 1981.

Bel'skii, S.A. and S.V. Sttarodubtsev. Soviet Physik. JETP (English Transl) 37 : 700, 1960.

Bernstein, A.M. and A.K. Mann. "Scattering of Gamma Ray by a Static Electric Field," Physical Review. 100 : 805, May, 1958.

Burge, E.J. Atomic Nuclli and Their Particle. p. 42 - 43, Scotland, Oxford University Press, 1977.

Davey, W.G. "The Elastic Scattering of 1.33 MeV and 2.76 MeV Gamma Rays by Lead," The Proceedings of the Physical Society. A66 : 1069, 1953.

~~Engel, Harold A.~~ Introduction of Nuclear Physics. p. 15, 1961 ed.
Tokyo, Addison-Wesley, 1981.

Hardie, G. and others. Physical Review. c 3 : 1287, March, 1971.

Hubbell, J.H. and others. "Atomic form Factors, Incoherent Scattering Functions, and Photon Scattering Cross Section," J. Phys. Chem. Ref. Data. 4 : 511, 1975.

Jackson, Daphae F. Nuclear Reaction. p. 2, Netherlands, Methuen and Co., 1970.

Johnson, W.R. and Kwok-Tsang Cheng. "Elastic Scattering of 0.1 - 1 MeV Photons," Physical Review. A 13 : 692, February, 1976.

Livinger, G.S. Physical Review. 84 : 523, 1951.

Moon, P.B. "The Hard Components of Scattered Gamma-Rays," The Proceedings of the Physical Society. 63 : 1189, 1950.

Murty, Narasimha and others. "Elastic Scattering of 1.12 MeV Gamma Rays," Nuclear Physics. 62 : 296, 1965.

- Papatzacos, Paul and Kjell Mork. Phys. Lett. C 21 : 97, 1975.
- Preecha Teansomprasong. Elastic Scattering of γ Rays from Pb. Master's Thesis, James Cook University, Queensland, September, 1979. 100 p. mimeographed.
- Roy, R.R. and Robert D. Read. "Total Photon Absorption," Interaction of Photons and Leptons with Matter. p. 240 - 250, Academic Press, 1968.
- Schumacher, M. "Elastic Scattering of 145, 279, 412 and 662 keV γ -Rays from Lead," Physical Review. 182 3, June, 1969.
- Schumacher, M. and others. "Elastic Scattering of γ -Rays from Lead for Energies from 0.145 to 1.33 MeV," Nuclear Physics. A 206 : 513, 1973.
- Schumacher, M. and I. Borchert. "Delbruck Scattering of 2.754 MeV Photons by Pb for Angle from 15° to 150° ," Physical Review. A 13 2319, June, 1976.
- Smend, F. and M. Schumacher. "Differential Cross Section for the Elastic Scattering of γ -Rays for Energy from 145 to 750 keV," Nuclear Physics. A 223 : 423, 1974.
- Smend, F. and others. "The γ -Dependence of the Elastic Scattering of γ -Rays," Nuclear Physics. A 213 : 309, 1973.
- Storruste, A.P. "The Rayleigh Scattering of 0.41 MeV Gamma-Rays at Various Angles," Proc. Phys. Soc. 63 : 1197, 1950.
- Storruste, A.P. and P.O. Tjon. "Small Angle Scattering of 1.33 MeV and 1.17 MeV Gamma Rays," Nuclear Physics. 6 : 151, 1958.
- Wimon Chitwattanagorn. Elastic Scattering of γ -Rays from Pb. Master's Thesis, James Cook University, Queensland, November, 1976. 100 p.
- Wimon Chitwattanagorn and others. "Elastic Scattering of Eu^{152} γ -Rays by Pb," J. Phy. G: Nucl. Phys. 6 : 1147 - 1164, 1980.
- Whittingham, I.B. Elastic Scattering of Low Energy γ -Rays II Theoretical Cross Section for Scattering of Eu^{152} Gamma-Rays by Pb. James Cook University, Queensland, May, 1978. 46 p.